Materia tuturor lucrurilor - preBT

Suzie Sheehy

Materia tuturor lucrurilor
12 experimente care au schimbat lumea

Traducere din limba engleză de
George Chiriță
Lifestyle Publishing
— 2022 —

Autor: Suzie Sheehy
Titlul original:
The Matter of Everything
Copyright © 2022

Copyright © Lifestyle Publishing, 2022 pentru prezenta ediție
O.P. 16, Ghişeul 1, C.P. 0490, Bucureşti
Tel.: +4 021 300 60 90; Fax: +4 0372 25 20 20
e-mail: comenzi@edituratrei.ro www.lifestylepublishing.ro

ISBN (print): 978-606-789-358-8
ISBN (epub): 9786067893922

EDITORI: Silviu Dragomir,
Magdalena Mărculescu
DIRECTOR: Crina Drăghici
REDACTARE: Constantin Dumitru
DESIGN: Alexe Popescu
DIRECTOR PRODUCȚIE: Cristian Claudiu Coban
DTP: Răzvan Nasea
CORECTURĂ: Irina Muşătoiu,
Andreea-Lavinia Dădârlat

Conținutul acestei lucrări electronice este protejat prin copyright (drepturi de autor), iar cartea este destinată exclusiv utilizării ei în scop privat pe dispozitivul de citire pe care a fost descărcată. Orice altă utilizare, incluzând împrumutul sau schimbul, reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea, închirierea, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informației, altele decât cele pe care a fost descărcată, revânzarea sub orice formă sau prin orice mijloc, fără consimțământul editorului, sunt interzise.

Dreptul de folosință al lucrării nu este transferabil.

Drepturile de autor pentru versiunea electronică în formatele existente ale acestei lucrări aparțin persoanei juridice Lifestyle Publishing SRL.

Introducere

Cu câțiva ani în urmă, stăteam în fața unui laptop, încruntându-mă la întrebarea aparent uşoară pe care tocmai mi-o adresaseră patru profesori de fizică a particulelor elementare de la Universitatea din Oxford. Îmi scăpase numele lor, nu doar din cauza emoțiilor, ci şi pentru că interviul meu de doctorat avea loc printr-o conexiune instabilă la internet, dintr-o cameră de motel a unei regiuni slab populate din Australia. Ei mă întrebaseră:

— Ce vi se pare fascinant la fizica particulelor elementare?

Era o întrebare capcană, cu siguranță. Toată lumea ştie că interviurile de admitere la Universitatea Oxford sunt dificile. În acel moment, am decis că era mai bine să fiu sinceră. Le-am povestit despre uimirea mea în legătură cu modul în care fizica părea să poată descrie totul: de la cele mai mici particule subatomice la atomii care ne alcătuiesc corpul, până la cele mai mari scări ale Universului, şi cum toate acestea sunt legate între ele.

— Fizica particulelor elementare, am spus, este fundamentul tuturor lucrurilor.

Cu cinci ani înainte, studiam ingineria civilă la Universitatea din Melbourne. Nu mi-am dat seama niciodată că aş avea posibilitatea să devin fizician. Deşi îmi plăcuse fizica în şcoală, ştiam doar că era o materie care îți putea netezi calea spre o carieră în inginerie. Toate acestea s-au schimbat după un an de studii universitare, când colegii mei de grupă m-au invitat la evenimentul anual cel mai important din calendarul societății studențeşti de fizică: tabăra de astronomie.

Într-o după-amiază de vineri, am plecat din Melbourne şi am ajuns, două ore mai târziu, la Leon Mow Dark Sky Site.

Drumul industrial accidentat ne-a condus la o clădire cu acoperiş de tablă, unde am despachetat bere şi telescoape, apoi ne-am instalat corturile lângă un luminiş mare. Pe măsură ce lumina zilei se stingea, temperatura scădea, iar sunetul cicadelor începea să se audă din depărtare.

Pentru a-mi păstra vederea nocturnă, mi-am acoperit lanterna cu o bucată de celofan roşu, prinsă cu un elastic de păr. Am intrat cu greu în sacul meu de dormit, recunoscătoare pentru dubla sa funcţie – de sursă de căldură şi de apărare împotriva insectelor. Am inhalat mirosul familiar de eucalipt. Apoi am privit în sus.

— Uite unul! a strigat bărbatul de lângă mine, când un meteorit a despicat cerul.

Pe măsură ce ochii mei se adaptau la întuneric, adevărata minunăţie a acestui „loc desemnat pentru cerul întunecat” s-a dezvăluit. Discuţiile au devenit şoapte, care, mai apoi, s-au stins în tăcere. Venus a apus încet sub orizont şi, astfel, am putut vedea alte planete. În noaptea aceea, am înţeles natura lentă, dar în continuă schimbare, a cerului nocturn. Prin telescoapele prietenilor mei, am văzut inelele magnifice din jurul lui Saturn, familiare din fotografii, dar ciudat de noi prin intermediul unui obiectiv, stelele care se formează în nebuloase pline de praf strălucitor şi roiuri globulare strălucitoare cu milioane de stele care orbitează în jurul galaxiei noastre, la 100 000 de ani-lumină distanţă.

Cea mai spectaculoasă panoramă a fost fâşia lată de stele şi praf, arcul strălucitor al galaxiei noastre, Calea Lactee. Din emisfera sudică, privim spre mijlocul galaxiei noastre în formă de disc. Ne aflăm la aproximativ două treimi de mijloc, orbitând în jurul stelei noastre, care, la rândul ei, se deplasează prin Calea Lactee. Galaxia se deplasează prin spaţiu împreună cu grupul său local de galaxii cu aproximativ 600 de kilometri pe secundă. Dincolo de ea se află miliarde de alte galaxii asemănătoare, stele şi

nebuloase, găuri negre şi quasari, materie formată din energie transformată prin imense porţiuni de spaţiu şi timp.

Acela a fost momentul în care am înţeles cu adevărat cât de mică eram, cât de scurtă era viaţa mea şi cât de greu îmi era să descriu în cuvinte măreţia a ceea ce vedeam. Stelele şi planetele nu erau acolo sus, iar eu nu eram aici jos: totul făcea parte dintr-un sistem fizic imens numit Univers. Şi eu făceam parte din el.

Bineînţeles că ştiam deja acest lucru, dar niciodată nu mi-am simţit cu adevărat locul în el până în acel moment.

Dintr-odată, nimic altceva nu mai conta. Am vrut să ştiu mai multe, despre gravitaţie, particule elementare, materie întunecată şi relativitate. Despre stele, atomi, lumină şi energie. Mai presus de toate, am vrut să ştiu cum se leagă toate acestea şi cum eram eu conectată la ele. Am vrut să ştiu dacă există cu adevărat o teorie a tuturor lucrurilor. Am simţit profund că toate acestea contau, contau pentru mine ca om, că înţelegerea lor era un obiectiv suficient de măreţ încât, dacă reuşeam măcar un pic să îl urmăresc, nu mi-aş fi irosit bruma de timp ca fiinţă conştientă. Am decis să devin fiziciană.

Scopul fizicii este de a înţelege cum se comportă Universul şi tot ce se află în el.

Unul dintre felurile în care încercăm să facem acest lucru este să ne punem întrebări şi, pe măsură ce am studiat mai mult fizica, întrebarea care părea să se afle în nucleul tuturor era: „Ce este materia şi cum interacţionează ea pentru a crea tot ceea ce ne înconjoară – inclusiv pe noi înşine?” Presupun că încercam să-mi dau seama care este sensul propriei mele existenţe. În loc să studiez filosofia, am abordat această problemă într-un mod mai indirect: am încercat să înţeleg întregul Univers.

De mii de ani, oamenii şi-au pus întrebări despre natura materiei întregi, dar abia în ultimii 120 de ani această

curiozitate ne-a condus, în cele din urmă, la câteva răspunsuri. În prezent, felul în care înțelegem cei mai mici constituenți din natură şi forțele care îi guvernează este descris de fizica particulelor elementare, una dintre cele mai impresionante, complexe şi creative aventuri în care oamenii s-au angajat vreodată. Astăzi, cunoaştem îndeaproape materia fizică a Universului şi modul în care aceasta alcătuieşte totul. Am descoperit că realitatea are o bogăție şi o complexitate pe care oamenii de acum câteva generații nu şi le-ar fi putut imagina niciodată. Am răsturnat ideea potrivit căreia atomii ar fi cele mai mici părți ale lumii noastre şi am descoperit particule fundamentale care nu joacă niciun rol în materia obişnuită, dar par necesare conform matematicii care – oarecum miraculos – ne descrie realitatea. În doar câteva decenii, am învățat cum să punem cap la cap toate aceste informații, de la explozia de energie de la începutul Universului până la cele mai precise măsurători din natură.

Viziunea noastră asupra celor mai mici constituenți din natură s-a schimbat rapid în ultimii 120 de ani: de la radioactivitate şi electron la nucleul atomic şi domeniul fizicii nucleare, împreună cu dezvoltarea mecanicii cuantice (care descrie natura la cele mai mici scări). Cândva, prin secolul XX, această activitate a devenit cunoscută sub numele de „fizica energiilor înalte”, pe măsură ce au fost descoperite noi particule, iar accentul s-a mutat de la nucleul atomic. În prezent, studiul numeroaselor particule care există şi a felului în care acestea se formează, se comportă şi se transformă se numeşte, pur şi simplu, fizica particulelor elementare.

Modelul standard al fizicii particulelor elementare clasifică toate particulele cunoscute din natură şi forțele prin care acestea interacționează. Acesta a fost dezvoltat de mai mulți fizicieni de-a lungul deceniilor, iar versiunea noastră actuală

a apărut în anii 1970. Această teorie este un triumf absolut: este elegantă din punct de vedere matematic şi incredibil de precisă şi, cu toate acestea, poate fi scrisă pe marginea unei căni. În studenție, am fost atrasă de felul în care modelul standard părea să descrie complet felul în care funcționează natura la nivel fundamental.

Modelul standard ne spune că toată materia care alcătuieşte existența noastră de zi cu zi este compusă din doar trei particule. Noi suntem compuşi din două tipuri de quarc numite „sus" şi „jos", care formează protonii şi neutronii noştri. Aceste două tipuri de quarc, împreună cu electronii, formează atomii, ținuți împreună de forțe: electromagnetismul şi forțele nucleare tare şi slabă. Asta este tot. Asta suntem noi şi tot ceea ce ne înconjoară. [1] Totuşi, în ciuda faptului că nu suntem compuşi decât din quarci şi electroni, noi – oamenii – ne-am dat seama cumva că natura este mult mai mult de atât.

Triumful cunoaşterii umane nu s-a produs doar prin salturi conceptuale şi teoretice. Stereotipul unui geniu singuratic care teoretizează la un birou este în mare parte incorect. Timp de peste un secol, fizicienii au abordat într-o manieră complet practică întrebări precum „Ce se află în interiorul atomului?", „Care este natura luminii?" şi „Cum a evoluat universul nostru?" Astăzi, putem spune că ştim toate aceste lucruri, că avem impresia că modelele noastre teoretice reprezintă realitatea, nu pentru că avem o matematică elegantă, ci pentru că am făcut experimente.

În timp ce mulți dintre noi am întâlnit în copilărie ideea că protonii, neutronii şi electronii alcătuiesc lumea din jurul nostru, se vorbeşte foarte puțin despre cum am învățat despre materie şi forțe şi, la urma urmei, despre tot. Un proton este de un milion de milioane de ori mai mic decât un grăunte de nisip şi este departe de a fi evident felul în care lucrăm cu materia la o scară atât de mică. Aşa se

manifestă arta fizicii experimentale: prin faptul că ne urmărim curiozitatea de la germenele unei idei la un echipament fizic real, urmată de acumularea de noi cunoştinţe. Acea seară petrecută în locul cu cerul întunecat, care m-a făcut să înţeleg că îmi plăcea mai mult fizica atunci când aveam ocazia să o trăiesc, m-a condus spre ideea de a fi fizician experimentalist.

Dacă fizicienii teoreticieni se pot delecta cu posibilităţi matematice, experimentele ne duc la acea frontieră înfricoşătoare a vulnerabilităţii: lumea reală. Aceasta este diferenţa dintre teorie şi experiment. În timp ce ideile unui fizician teoretician trebuie să ţină cont de rezultatele experimentelor, un fizician experimentalist are o profesie mai nuanţată. Ea nu se limitează doar la a testa ideile fizicienilor teoreticieni, ci îşi pune propriile întrebări şi proiectează şi construieşte fizic echipamente pe care le poate folosi pentru a testa aceste idei.

Fizicianul experimentalist trebuie să înţeleagă şi să fie capabil să folosească teoria, dar nu trebuie să se lase constrâns de ea. Trebuie să rămână deschis la posibilitatea de a găsi ceva neprevăzut sau necunoscut. De asemenea, trebuie să înţeleagă multe alte lucruri: cunoştinţele sale practice se întind de la electronică până la chimie, de la sudură până la manipularea azotului lichid. Apoi, trebuie să combine toate acestea astfel încât să poată manipula materia pe care nu o poate vedea. Adevărul este că experimentele sunt dificile şi procesul implică multe începuturi greşite şi eşecuri. Este nevoie de o curiozitate şi de o personalitate speciale pentru a vrea să faci astfel de experimente. Cu toate acestea, de-a lungul istoriei, mulţi au avut pasiunea şi stăruinţa necesare pentru a le realiza.

În ultimul secol, experimentele pe care oamenii de ştiinţă le-au folosit în fizica particulelor elementare au trecut de la aparate într-o singură cameră, coordonate de o singură

persoană, la cele mai mari instalații de pe Pământ. Epoca „Big Science”, care a început în anii 1950, a ajuns acum să producă experimente care implică colaborarea a peste o sută de țări şi a zeci de mii de oameni de ştiință.

Construim acceleratoare subterane de particule, formate din mai mulți kilometri de echipamente electromagnetice de înaltă precizie în proiecte care se întind pe o perioadă de peste douăzeci şi cinci de ani şi costă miliarde de dolari. Am ajuns la un punct în care nicio țară nu poate realiza de una singură aceste performanțe.

În acelaşi timp, viața noastră de zi cu zi a trecut printr-o transformare la fel de dramatică. În 1900, majoritatea locuințelor nu aveau electricitate, lucru care urma să se întâmple abia peste douăzeci de ani, caii erau principala formă de transport, iar durata medie de viață în Marea Britanie sau în Statele Unite ale Americii era mai mică de 50 de ani. În prezent, trăim mai mult, în parte pentru că, atunci când ne îmbolnăvim, spitalul dispune de aparatură RMN, CT şi PET pentru a ne ajuta să diagnosticăm bolile, precum şi de o serie de medicamente, vaccinuri şi dispozitive de înaltă tehnologie pentru a ne trata. Avem computere, World Wide Web şi telefoane inteligente pentru a ne conecta, care au creat domenii de activitate şi moduri de lucru complet noi. Chiar şi bunurile care ne înconjoară sunt proiectate, îmbunătățite şi completate cu ajutorul noilor tehnologii, de la anvelopele maşinilor până la pietrele prețioase din bijuterii.

Când ne gândim la ideile şi tehnologiile care alcătuiesc lumea modernă, rareori asociem acest lucru cu traiectoria paralelă a fizicii experimentale, dar ele sunt întrepătrunse. Toate exemplele de mai sus au luat naştere în urma unor experimente menite să afle mai multe despre materie şi forțele naturii – iar această listă nu este decât vârful aisbergului. În doar două generații, am învățat să controlăm

atomi individuali pentru a construi dispozitive de calcul atât de mici, încât este greu să le vedem chiar şi cu microscopul; să folosim natura instabilă a materiei pentru a diagnostica şi a trata bolile; şi să vedem în interiorul piramidelor antice folosind particule de înaltă energie din spaţiu. Toate acestea sunt posibile datorită capacităţii noastre de a manipula materia la nivelul atomilor şi al particulelor, cunoştinţe care au apărut în urma unor cercetări motivate de curiozitate.

Am ales să fiu fizician experimentalist în domeniul fizicii acceleratoarelor: sunt specializată în inventarea de echipamente reale care manipulează materia la această scară minusculă. Fizicienii specializaţi în acceleratoare descoperă în mod constant noi modalităţi de a crea fascicule pentru a afla mai multe despre fizica particulelor elementare, dar munca noastră contribuie din ce în ce mai mult la alte părţi ale societăţii. Încă mai surprindem studenţii, prietenii şi publicul când le spunem că cel mai apropiat spital al lor aproape sigur găzduieşte un accelerator de particule, că telefonul lor inteligent se bazează pe mecanica cuantică şi că faptul că ei pot naviga pe internet este posibil doar datorită fizicienilor specializaţi în particule elementare. Construim acceleratoare de particule pentru a studia virusurile, ciocolata şi manuscrisele antice. Înţelegerea detaliată a geologiei şi a istoriei antice a planetei noastre este rezultatul cercetării în domeniul fizicii particulelor elementare.

Cercetarea motivată de curiozitate ne duce dincolo de limitele a ceea ce ştim şi a ceea ce ne aşteptăm, conducându-ne la idei, frontiere şi soluţii care schimbă cursul istoriei. Prin această căutare de noi cunoştinţe, reducem decalajul dintre ceea ce ştim că este posibil şi ceea ce credem că este imposibil. Astfel, curiozitatea ne conduce la inovaţii cu adevărat revoluţionare. Fizica, în special fizica particulelor elementare, oferă poate cele mai grăitoare

exemple ale acestui fenomen. Aşadar, cum a dus o serie de experimente de fizică la toate aceste aspecte ale lumii noastre moderne?

Au existat, desigur, mii de experimente, toate contribuind într-un fel sau altul la cunoştinţele noastre. În această carte, îţi voi prezenta douăsprezece experimente-cheie care au marcat o premieră – o descoperire – pe care acum o considerăm esenţială pentru înţelegerea lumii în care trăim. Vom începe cu experimentele efectuate de câteva persoane în mici laboratoare din Anglia şi Germania la sfârşitul secolului al XIX-lea – experimente care au arătat că fizica clasică se clatină, avertizându-ne de existenţa unor entităţi mai mici decât atomii. De aici vom vedea cum experimentele din Chicago au ajutat la validarea ideilor emergente ale mecanicii cuantice, determinând fizicieni din întreaga lume să zboare în baloane cu aer cald şi să urce pe vârfuri de munte pe urmele noilor particule. Fiecare experiment îmi aminteşte de amestecul de frustrare şi bucurie pe care îl cunosc prea bine din propriul meu laborator, acea experienţă foarte umană de a face ştiinţă practică, dar beneficiul retrospecţiei îmi permite să văd ceea ce aceşti primi experimentatori nu au putut vedea: ce s-a ales de invenţiile şi descoperirile lor.

Următoarele experimente ne arată cursa dintre Statele Unite ale Americii, Germania şi Marea Britanie pentru a construi primul accelerator de particule şi a diviza atomul. Aceste experimente au fost implicate în crearea de elemente radioactive artificiale în California şi au dus la o descoperire norocoasă a oamenilor de ştiinţă din domeniu, care a creat atât un nou instrument de cercetare, cât şi o nouă înţelegere a astronomiei. În cele din urmă, vom urmări poveştile echipelor şi naţiunilor care s-au unit pentru a construi marile experimente ce au stat la baza propriei mele cariere: de la laboratoarele americane Brookhaven şi Berkeley la

Stanford Linear Collider şi Fermilab şi, în cele din urmă, la Organizația Europeană pentru Cercetare Nucleară (CERN).

Luate împreună, aceste experimente întruchipează spiritul de investigație care derivă din curiozitatea umană. Pe parcursul ultimului secol, acestea ne-au schimbat viața în aproape toate privințele, de la calculatoare la medicină, de la energie la comunicații şi de la artă la arheologie. Fizica va fi întotdeauna, în esența sa, despre înțelegerea locului nostru în Univers, un adevăr pe care l-am simțit încă de când am văzut cerul nopții din nou. Această călătorie ilustrează şi felul în care fizica a condus la o mare parte din tehnologia modernă, pe care o luăm acum de bună, şi la rezultate practice pe care nici măcar nu ni le-am imaginat vreodată. Ne spune că fizica ne învață ceva despre curiozitate şi despre puterea pe care o avem cu toții de a face descoperiri care ar putea schimba lumea.

Partea întâi
Sfârşitul fizicii clasice

Imaginația este facultatea descoperitoare prin excelență. Ea este cea care pătrunde în lumile nevăzute din jurul nostru, în lumile ştiinței. Ea este cea care simte şi descoperă ceea ce este, realul pe care nu-l vedem, care nu există pentru noi, ci pentru simțurile noastre.

Ada Lovelace, într-o scrisoare către lordul Byron, ianuarie 1841

Capitolul 1

Tubul cu raze catodice: razele X şi electronul

Povestea noastră începe în 1895, într-un laborator din oraşul german Würzburg.

Nu semăna prea mult cu spațiile albe şi curate folosite de oamenii de ştiință din zilele noastre; avea podele frumoase de parchet şi ferestre înalte impresionante care dădeau spre parcul şi viile de vizavi. Fizicianul Wilhelm Röntgen închidea obloanele şi se apuca de treabă. Pe o masă lungă din lemn, a aşezat un tub de sticlă de mărimea unei sticle mici de vin, din care a scos aproape tot aerul cu o pompă de vid. [1] Electrozii metalici aveau fire atârnate, unul la capătul tubului (catodul negativ) şi celălalt aproximativ la jumătatea lungimii (anodul pozitiv).

Atunci când se aplica electricitate de înaltă tensiune, în interior apărea o strălucire – aşa-numitele „raze catodice", care au dat numele tubului. Până aici, totul era aşa cum se aştepta. Apoi, cu coada ochiului, a observat în cealaltă parte a laboratorului un mic ecran care strălucea.

S-a îndreptat spre el pentru a-l inspecta. Ecranul acoperit cu fosfor emitea o lumină de culoare verde. Când a oprit tubul catodic, lumina a dispărut. Când a pornit din nou tubul, lumina a revenit. Poate că era doar o păcăleală a ochiului, o reflexie a luminii de la tubul catodic strălucitor? A acoperit tubul cu un carton negru, dar a constatat că lumina de pe ecran persista. Nu mai văzuse aşa ceva până atunci, dar s-a gândit că ar putea fi important.

Din acel moment, fizica nu va mai fi niciodată la fel. Începând cu această primă observație întâmplătoare, experimentele cu ajutorul tuburilor catodice aveau să ducă domeniul fizicii pe un teritoriu complet nou şi să înceapă să răstoarne ideile despre lumea naturală care fuseseră acceptate de milenii. În timp, tubul catodic avea să conducă la tehnologii care au schimbat felul în care oamenii trăiesc, lucrează şi comunică. Totul a început aici, cu acest ecran strălucitor şi cu această curiozitate a unui om.

Ca majoritatea oamenilor de ştiinţă din lume la sfârşitul secolului al XIX-lea, Wilhelm Röntgen era de acord că domeniul fizicii era aproape complet.

Universul era alcătuit din materie formată din „atomi”. Îşi dăduseră seama că existau diferite tipuri de atomi, care corespundeau diverselor elemente chimice.

De la copaci la metale, de la apă la blană: toată complexitatea lumii materiale înconjurătoare era diferită în ceea ce priveşte duritatea, culoarea şi textura, deoarece multiplele ei aspecte erau construite din atomi diferiţi, pe care ei îi vedeau ca pe nişte mici piese sferice de Lego. Dacă aveai instrucţiunile corecte, puteai să iei un anumit set de atomi şi să creezi orice doreai.

De asemenea, ştiau că există forţe prin care totul interacţionează. Gravitaţia menţinea stelele în galaxia noastră şi planeta noastră în jurul Soarelui. Chiar şi forţele misterioase ale electricităţii şi magnetismului fuseseră, în cele din urmă, reunite într-o singură forţă: electromagnetismul. Universul era previzibil: dacă aveai toate detaliile funcţionării interne şi puneai lucrurile în mişcare, mişcările întregii materii puteau fi prezise perfect.

Acum mai rămăseseră de explorat doar detaliile – detalii cum ar fi modul exact în care funcţiona tubul catodic, unul dintre puţinele lucruri mărunte pe care nu le puteau explica cu adevărat. Desigur, existau teorii, inclusiv ideea că strălucirea din interior era legată de ondulaţiile din ipoteticul eter, mediul prin care se credea că lumina călătoreşte în acelaşi mod în care sunetul este transmis de aer.

Acum, în cercetările sale asupra detaliilor tubului catodic, Röntgen părea să fi dat peste o explicaţie. Nu numai că se întâmpla ceva inexplicabil în interiorul tubului, dar descoperise un efect ciudat şi în exterior.

În copilărie, Röntgen păruse un băiat obişnuit. Fiu al unui negustor de stofe, îi plăcea să exploreze natura la țară şi în păduri. [2] Singurul lucru pentru care a arătat o aptitudine deosebită a fost fabricarea de obiecte mecanice[3], iar această abilitate timpurie i-a fost utilă în activitatea experimentală de mai târziu. La vârsta adultă, avea un păr negru, ridicat pe frunte „ca şi cum ar fi fost în permanență electrizat de propriul entuziasm”.[4]

Röntgen era un om timid, care ținea prelegeri cu o voce intolerabil de joasă, era exigent cu studenții săi şi se simțea chiar puțin stânjenit de ideea de a avea asistenți în laboratorul său. Dar iubea ştiința, citându-l uneori pe marele inginer Werner von Siemens: „Viața intelectuală ne oferă uneori poate cea mai pură şi cea mai înaltă bucurie de care este capabilă ființa umană”.

Acum descoperise ceva ce nimeni nu mai văzuse până atunci. Când a văzut ecranul ciudat care strălucea, a presupus că nu se uita la acelaşi tip de „rază” care făcea să strălucească tubul cu raze catodice, deoarece acel efect părea să fie limitat la interiorul tubului. În schimb, a descoperit un nou tip de rază invizibilă care părea să se poată deplasa mult mai departe. S-a dedicat imediat explorării aprofundate a acestei observații, canalizându-şi tot timpul şi energia în laborator.

Când a fost întrebat mai târziu ce a gândit în acel moment, a spus: „Nu am gândit, am investigat”. Avea o serie de tuburi similare prin laborator[5] pe care le putea folosi acum cu ecranul fosforescent, instalându-le pe fiecare, metodic şi minuțios, pentru a identifica natura noilor raze. A plasat diferite materiale între tub şi ecran, încercând hârtie, lemn şi chiar cauciuc dur. Razele treceau prin toate materialele, diminuându-şi foarte puțin intensitatea. Când a îndreptat razele prin uşa groasă din lemn spre laboratorul alăturat, a constatat că le putea detecta şi de cealaltă parte.

Doar atunci când a plasat folie de aluminiu în fața tubului, razele au arătat o oarecare dificultate în a trece prin ea.

A petrecut şapte săptămâni intense în laboratorul său, soția sa, Anna Bertha, amintindu-i din când în când să mănânce. În afară de aceste interacțiuni, lucra aproape în întregime singur şi a păstrat tăcerea cu privire la cercetările sale. Nu le-a spus asistenților săi, cu atât mai puțin colegilor săi din străinătate. Ştia că, dacă nu-şi anunța primul descoperirea, sute de alți oameni de ştiință care aveau experimente similare în laboratoarele lor i-ar fi luat-o înainte. Singura relatare privind un moment în care a vorbit despre munca sa a fost cea potrivit căreia i-ar fi spus unui bun prieten doar atât: „Am descoperit ceva interesant, dar nu ştiu dacă observațiile mele sunt corecte sau nu".

În continuare, a încercat să-şi bage mâna în calea razelor şi a scris: „Dacă mâna este ținută între tubul de descărcare şi ecran, umbra mai întunecată a oaselor se vede în imaginea uşor întunecată a mâinii înseşi..." Asta i-a dat o idee. A folosit razele pentru a face o imagine a mâinii Berthei pe o placă fotografică, ceea ce i-a confirmat că a înțeles bine: razele călătoreau uşor prin piele şi carne, dar nu la fel de uşor prin os sau metal. Oasele de la mână şi verigheta ei au apărut întunecate în contrast cu carnea pe care o vedem în mod normal cu ochiul liber. Capacitatea de a bloca noile raze era legată de densitatea obiectului. Potrivit legendei, când Bertha şi-a văzut oasele mâinii, a exclamat „Mi-am văzut moartea!" şi nu a mai pus niciodată piciorul în laboratorul soțului ei.

Röntgen trebuia să dea un nume noilor raze în caietul său. În ştiință, de obicei, desemnăm lucrurile necunoscute cu o literă precum „X", astfel că Röntgen a găsit probabil cea mai bună marcă neintenționată din istoria fizicii. El şi-a numit noua descoperire „raze X".

După ce s-a convins că a înțeles cum se comportă razele X, Röntgen a trebuit să ia o decizie. Să-şi breveteze ideea, să-şi publice descoperirile sau să mai lucreze înainte de a-şi anunța descoperirea? Existau multe întrebări în legătură cu care încă era curios, cum ar fi felul în care razele X erau legate de lumină şi de materie, din ce erau făcute şi cum se formau. El a stabilit că nu mai putea amâna anunțul; riscul ca altcineva să descopere razele X era prea mare. Dacă ar fi publicat descoperirea înainte de a solicita un brevet, nu ar fi câştigat niciodată bani de pe urma ei, în cazul în care s-ar fi dovedit a fi utilă în medicină. Dar Röntgen era fizician, nu medic, aşa că nu ştia dacă medicii vor fi interesați sau nu de ideea să. A decis că cea mai bună modalitate de a o face utilă era să-şi publice descoperirea şi să o comunice comunității medicale.

Depăşindu-şi timiditatea obişnuită, pe 23 ianuarie 1896, Röntgen a instalat o masă grea cu experimentul său cu raze X în sala de conferințe a Societății de Medicină Fizică din Würzburg, la doar câțiva paşi de laboratorul său. Mulțimea aflase deja de descoperirea sa din articolele de ziar şi au fost atât de mulți cei prezenți, încât pe culoarele sălii oameni stăteau în picioare. Röntgen a prezentat prima prelegere despre ceea ce a descoperit. El a arătat publicului cum razele X puteau trece prin lemn şi cauciuc, dar nu şi prin metal. Le-a arătat fotografia mâinii Berthei şi le-a povestit despre ideea să de a folosi imaginile cu raze X pentru a vedea interiorul corpului uman. Pentru a-şi susține ideea, a decis să demonstreze cât de uşor este să creeze o imagine similară.

Stând în fața sălii, l-a invitat pe preşedintele societății, un anatomist de vază, să îşi pună mâna în calea razelor X. Röntgen a pornit tubul catodic şi a făcut o fotografie cu raze X a mâinii preşedintelui. Medicii prezenți au fost uimiți.

Aceştia au înţeles imediat valoarea descoperirii sale, iar preşedintele a fost atât de impresionat, încât a cerut mulţimii să-l aplaude pe Röntgen. Ei au propus chiar să numească noile raze în onoarea sa.[7]

*

Vestea despre acest nou fenomen s-a răspândit ca un foc de paie, inspirând admiraţie, teamă şi chiar poezie în întreaga lume. În aceeaşi vreme în care cărţile lui Jules Verne despre călătoria către centrul Pământului captau imaginaţia publicului, Röntgen descoperise brusc posibilitatea de a vedea în interiorul corpului uman. Acest lucru a dus la unele concepţii greşite interesante, cum ar fi ideea că razele X ar putea vedea prin hainele unei femei (ideea de a vedea prin hainele bărbaţilor a rămas nemenţionată). Antreprenorii din acea vreme au început să vândă lenjerie intimă de plumb rezistentă la raze X, probabil doar pentru femei. „Ochelarii cu raze X" au fost interzişi într-o serie de săli de operă, deşi nu existau, de fapt. Filosofii se temeau că razele X ar putea dezvălui cele mai intime lucruri despre cineva.

Sute de oameni de ştiinţă din întreaga lume aveau deja tuburi catodice, un echipament standard în laboratoarele de fizică. Astfel, aceştia au confirmat mai întâi descoperirea lui Röntgen şi apoi au început să se folosească de aceste tuburi, totul în câteva luni. La un an de la descoperire, în 1896, razele X erau folosite pentru a găsi fracturi osoase şi schije de obuz în corpurile soldaţilor răniţi pe câmpurile de luptă ale războiului dintre Italia şi Etiopia, iar Glasgow Royal Infirmary înfiinţase deja prima unitate de imagistică cu raze X din lume, cu sediul în spital.

În alte domenii de activitate ale societăţii, oamenii de afaceri au exploatat capacităţile razelor X pentru alte servicii. Popular la acea vreme era „pedoscopul", care realiza imagini cu raze X ale picioarelor clienţilor în timp ce aceştia

probau pantofi, practică întreruptă ulterior, când au început să apară dovezi că razele X puteau provoca uneori leziuni ale pielii sau ale țesuturilor – o problemă la care vom reveni mai târziu. Röntgen însuşi a sugerat o altă utilizare, realizând o imagine a unor greutăți metalice în interiorul unei cutii opace pentru a arăta potențialul lor de utilizare în industrie. Aceste prime „radiografii" au deschis calea pentru scanerele de securitate moderne din aeroporturi.

Întrucât a decis să nu-şi breveteze descoperirea pentru a nu-i împiedica aplicarea în medicină, Röntgen nu a primit niciun ban din toată această afacere. Cu înțelepciune, a lăsat responsabilitatea dezvoltării acestor tehnici pe seama profesiei medicale, pretinzând că este prea ocupat cu alte cercetări, dar a continuat să îşi ofere ajutorul acolo unde era nevoie.

Röntgen ar putea părea un personaj ciudat: un „geniu singuratic" care a făcut o „descoperire accidentală" din senin. La urma urmei, oricine era suficient de norocos să aibă un ecran fosforescent în apropiere ar fi putut să dea peste aceeaşi descoperire. Dar, dacă privim puțin mai atent, există şi alți factori în joc. Avea acces la o rețea mare de experți din întreaga lume, avea mulți ani de pregătire experimentală şi îşi cultivase o practică a răbdării şi a smereniei chiar şi în toiul entuziasmului său. Când a observat ecranul luminos, a avut cunoştințele necesare pentru a-şi da seama de semnificația observației şi curiozitatea de a cerceta mai aprofundat.

În pofida întregii mediatizări, nimeni nu ştia cu adevărat ce erau razele X.

Röntgen demonstrase că acestea nu aveau aceleaşi proprietăți de reflexie sau refracție ca lumina vizibilă, ca lumina ultravioletă sau infraroşie de dincolo de spectrul vizibil obişnuit. Nu se ştia clar cum erau create razele X din

razele catodice sau cum interacționau cu alte materii, cum ar fi ecranul fosforescent.

Descoperirea sa a ridicat o serie întreagă de întrebări noi despre cum sunt alcătuite materia şi lumina şi cum interacționează acestea. Răspunsul la aceste întrebări a necesitat continuarea experimentelor cu tubul catodic, care a continuat să joace un rol central în descoperirile care au urmat.

La începutul anului 1897, la Cambridge, Anglia, Joseph John („J.J.") Thomson, directorul fondator al celui mai important laborator de fizică din lume, a încercat să rezolve o controversă veche de douăzeci de ani. În loc să se concentreze asupra razelor X din exteriorul tubului, a încercat să determine compoziția razelor catodice strălucitoare din interiorul tubului.

Thomson avea o ipoteză care nu se bucura de popularitate. Considera că razele catodice erau un fel de corpusculi, sau particule. Acest lucru îl punea în dezacord cu Röntgen, care, împreună cu colegii săi germani, credea că razele catodice erau imateriale, o formă de lumină. [8] Thomson a folosit tuburile disponibile în laboratorul său pentru a studia electricitatea în medii gazoase, dar, mai nou, concepuse un nou set de experimente menite să răspundă la întrebarea: care este natura razelor catodice?

Thomson era fiul timid al unui librar din Manchester, care şi-a anunțat la vârsta de unsprezece ani intenția de a face cercetări originale. De unde a venit această dorință precoce nu este clar. Tatăl său a decedat când Thomson avea doar 16 ani, fără a-i lăsa bani pentru educație. Întrucât nu existau burse de studii în domeniul fizicii, Thomson a urmat Trinity College, din Cambridge, pentru a studia matematica. Acolo, simțul său delicat al umorului – adesea exprimat printr-un zâmbet copilăresc – combinat cu încrederea de sine intelectuală de nezdruncinat, i-a speriat

pe câțiva dintre colegii săi, care îl priveau cu un sentiment ciudat de teamă, uimire şi respect.

La vârsta de numai 27 de ani, Thomson a fost numit profesor şi director al Laboratorului Cavendish de la Universitatea Cambridge. Era un bărbat destul de scund, cu o mustață dezordonată, cu părul negru pe care îl despărțea la mijloc şi foarte puțin preocupat de simțul stilului. Un vechi prieten şi-a amintit mai târziu cum papionul său se ridica uneori până aproape de ureche, în timp ce Thomson se plimba, într-o inconştiență inocentă. Viața lui de acasă era simplă, dar când venea vorba de speculațiile despre natura materiei şi a Universului, era un adevărat revoluționar.

Thomson şi-a început investigațiile repetând cu atenție experimentele celor de dinaintea lui. În primul rând, a vrut să stabilească faptul că razele catodice şi sarcina electrică pe care o poartă nu pot fi separate. El a folosit un magnet pentru a curba razele catodice, forțându-le să lovească un electroscop, un dispozitiv de contorizare a sarcinii electrice. S-a înregistrat o sarcină negativă surprinzător de mare[1], ceea ce i-a confirmat opinia potrivit căreia razele purtau într-adevăr sarcină electrică.

În continuare, a recreat un experiment prin care încerca să devieze razele cu ajutorul unui câmp electric, folosind o tensiune menținută între două plăci pe care asistentul său le montase în interiorul unui tub vidat special construit.

Razele, dacă erau particule aşa cum credea el, ar fi trebuit să fie deviate de tensiune. Pe de altă parte, dacă razele ar fi fost formate din lumină, ar fi trebuit să se propage în linie dreaptă şi să nu fie deviate deloc, aşa cum lumina unei torțe ar fi trecut nestingherită de o tensiune.

Thomson se aştepta să constate că razele catodice vor fi deviate mai puțin de o tensiune mai mică decât de una mai mare. Heinrich Hertz, un fizician german care descoperise

anterior undele electromagnetice, încercase acelaşi experiment înaintea lui Thomson şi constatase că, deşi tensiunile mari deviau razele, tensiunile mai mici nu păreau să aibă niciun efect. Când Thomson a încercat pentru prima dată acest experiment în laboratorul său, a obținut, spre frustrarea sa, aceleaşi rezultate ca Hertz. Era ca şi cum razele catodice se comportau ca nişte particule la tensiuni mai mari şi ca lumina la tensiuni mai mici. Aceasta a reprezentat o mare provocare pentru ipoteza corpusculară a lui Thomson.

Thomson a experimentat cu aparatul său, încercând să înțeleagă ce vedea. Mai întâi a schimbat tipul de gaz din tub, dar rezultatul nu s-a schimbat. Apoi a încercat să schimbe cantitatea de gaz aducând vidul la un nivel mai scăzut şi a constatat că rezultatul s-a schimbat: a văzut deviații mici la o tensiune mică şi deviații mari la o tensiune mare, exact cum se aştepta. Pentru a fi sigur, a lăsat să intre din nou puțin gaz, iar deviațiile cauzate de tensiunea mică au dispărut din nou. Volumul mic de gaz rămas în tub se încărca electric şi avea ca efect anularea unei tensiuni mici, dar nu şi a uneia mai mari. Ca urmare, în prezența gazului, razele catodice pur şi simplu nu răspundeau la o tensiune mică. Aceasta s-a dovedit a fi cauza rezultatelor lui Hertz şi a frustrărilor lui Thomson. După cum scria mai târziu Thomson în memoriile sale: „Înainte ca tehnica lor să fie stăpânită cum trebuie, instrumentele delicate folosite în laboratoarele de fizică pot să dea un rezultat într-o zi şi unul contradictoriu în ziua următoare, ilustrând adevărul zicalei conform căreia legea constanței naturii nu a fost niciodată învățată într-un laborator de fizică”. [11]

Toate aceste rezultate i-au permis lui Thomson să concluzioneze că „traiectoria razelor este independentă de natura gazului”. [12] Cu alte cuvinte, efectele pe care le demonstra nu se datorau gazului din tub. Nici nu erau, pur

şi simplu, fluxuri de molecule de gaz încărcate electric, aşa cum susțineau alții. Reprezentau ceva mult mai fundamental. Acest lucru l-a determinat să-şi prezinte argumentul cheie: că toate aceste rezultate erau de aşteptat dacă razele erau într-adevăr un tip de particule încărcate negativ.

Rămânea doar să se arate ce fel de particule erau: atomi, molecule sau altceva.

Pentru a determina acest lucru, Thomson a folosit câmpuri electrice şi magnetice pentru a le stabili sarcina şi masa, în special raportul dintre cele două, „e/m". A ieşit un număr mult mai mare decât s-ar fi aşteptat. A fost un rezultat derutant şi nu se potrivea cu niciun atom sau moleculă cunoscută, particule care, din câte se ştia, erau cei mai mici constituenți ai naturii. Thomson avea două explicații posibile: fie particulele erau „grele", ca atomii, cu o sarcină electrică negativă extrem de mare, fie erau particule foarte uşoare, cu o sarcină electrică negativă standard. Niciuna dintre cele două opțiuni nu era prea atrăgătoare. Dacă particulele erau atomi cu o sarcină electrică foarte mare, Thomson ar fi trebuit să regândească ideea de sarcină în întregime. Pe de altă parte, dacă particulele erau uşoare, asta însemna că atomul nu era, până la urmă, o particulă fundamentală indivizibilă.

Thomson a schimbat aproape toate variabilele la care s-a putut gândi, a folosit diferite gaze în tub, a încercat diferite metale pentru electrozi şi a variat din nou nivelul de vid. Fiecare versiune a experimentului a produs acelaşi tip de particulă nouă, cu acelaşi raport mare între sarcină şi masă. În speculațiile cu privire la natura particulelor, el a apelat la cunoştințele sale din experimentele de chimie, la observațiile asupra spectrului de lumină de la stele şi chiar la configurațiile magneților. Încet, dar sigur, s-a îndepărtat de

ideea că particulele ar fi atomi cu o sarcină foarte mare. Era pregătit să îşi anunțe rezultatele.

Vineri, 30 aprilie 1897, la numai un an după ce Röntgen îşi anunțase descoperirea, Thomson a apărut în haine de seară în fața unei mulțimi care împânzise holurile de la Royal Instituțion din Londra şi a început să refacă seria de experimente sub forma unui discurs de vineri seara. Aceste prelegeri publice aveau loc săptămânal şi atrăgeau o mulțime enormă de londonezi înstăriți[13] – pe atunci, cele mai recente descoperiri ştiințifice erau considerate de înaltă cultură.

În punctul culminant al prelegerii, el a anunțat că misterioasele raze catodice erau, într-adevăr, alcătuite dintr-un tip de particule încărcate negativ. Era vorba de o particulă despre care a stabilit că era de aproximativ 2 000 de ori mai uşoară decât hidrogenul, cel mai uşor atom. Thomson descoperise electronul, prima particulă subatomică. [14]

A fost un triumf intelectual. Thomson a studiat aprofundat strălucirea misterioasă a razelor catodice şi a dezvoltat o nouă înțelegere a naturii materiei.

În luna octombrie a aceluiaşi an, el a reuşit să facă o nouă descoperire importantă: nu numai că razele catodice erau alcătuite din particule minuscule, dar aceste particule erau o componentă a materiei necunoscută până atunci, care spulbera ideea potrivit căreia atomul ar fi cea mai mică entitate indivizibilă. El nu era încă sigur de unde proveneau electronii, dar credea că aceştia erau aproape sigur ținuți în atomi. Având în vedere dovezile, chiar şi Röntgen şi colegii săi germani au fost nevoiți să recunoască faptul că Thomson avea dreptate. Împreună, Röntgen şi Thomson, folosind un singur echipament, au descoperit două aspecte complet noi ale naturii, care nu fuseseră observate până atunci.

Acum putem pune cap la cap ideile lor pentru a explica ceea ce se întâmpla în interiorul tubului catodic. Tensiunea ridicată aplicată catodului face ca acesta să emită electroni cu viteză mare, care sunt atraşi de anodul încărcat pozitiv. Dar unii dintre electroni, în loc să lovească anodul, trec pe lângă acesta cu viteză mare şi se lovesc de gaz şi de peretele de sticlă, energia transferată în timpul acestui proces creând lumină – strălucirea care i-a nedumerit pe oamenii de ştiinţă timp de decenii. Acest proces se numeşte „bremsstrahlung", care se traduce prin „radiaţie de frânare", deoarece electronii frânează în peretele de sticlă. Dacă electronii pierd suficientă energie, pot crea raze X: o formă de lumină de înaltă energie – radiaţie electromagnetică – cu capacitatea de a penetra mâinile (şi alte părţi ale corpului).

Spre deosebire de razele X, utilitatea descoperirii lui Thomson nu a fost evidentă la vremea respectivă. Thomson s-a întrebat deschis cum de un lucru atât de mic şi lipsit de importanţă ca un electron ar putea fi vreodată de interes în afara fizicii. La începutul anilor 1900, la petrecerea anuală a Laboratorului Cavendish, unde făcuse descoperirea, a fost rostit un toast ironic: „Pentru electron, fie ca acesta să nu fie niciodată de folos nimănui!"[15] Cu toate acestea, la douăzeci de ani de la această descoperire, Thomson a ţinut altă prelegere de vineri la Royal Instituţion, de data aceasta pe tema „Aplicaţiile industriale ale electronilor" şi, retrospectiv, putem observa că descoperirea sa şi felul în care noi o înţelegem acum vor sta la baza întregului domeniu al electronicii.

Cum s-a întâmplat asta? La prima vedere, desigur, pare să aibă sens, deoarece electronica – după cum sugerează şi numele – depinde de mişcarea electronilor. Dar oare descoperirea lui Thomson a avut vreo legătură cu asta?

Aveam nevoie de cercetările sale sau electronica ar fi apărut oricum? Pentru a înţelege relaţia dintre curiozitatea

lui Thomson şi revoluția electronicii, trebuie să-i putem aşeza activitatea într-un context.

La Muzeul de Ştiință din Londra există o galerie permanentă intitulată „Making the Modern World”[1]. Într-o vitrină mică, simplă, aflată pe mijlocul culoarului, se află câteva obiecte de sticlă cu plăcuțe explicative modeste. Unul dintre aceste obiecte este tubul catodic original folosit de J.J. Thomson pentru a descoperi electronul. În aceeaşi vitrină, se află unul dintre primele becuri electrice, iar pe partea cealaltă se află două obiecte cu aspect ciudat, numite valve Fleming, care arată ca nişte becuri cu trei picioare în formă de ştifturi în partea de jos. Această vitrină este o istorie în miniatură a inventării electronicii timpurii.

În apropiere se află o vitrină care prezintă un alt inventator bine-cunoscut, Thomas Edison. În 1880, în timp ce oameni de ştiință precum Thomson analizau în laboratoarele lor tuburile catodice, Edison şi asistenții săi au dat peste o tehnologie similară în încercările lor de a realiza iluminatul electric. La acea vreme, Edison avea 33 de ani, cu nouă ani mai mult decât Thomson, şi a avut o abordare foarte diferită de cea a cercetătorilor experimentali, deoarece era mânat de alte motive – şi anume, să facă bani din invențiile sale. În loc să exploreze fizica detaliată a becurilor, echipa lui Edison a încercat pur şi simplu cât mai multe materiale şi configurații posibile, un fel de metodă brută a aproximațiilor succesive. Cele mai multe tipuri de filament se ardeau aproape imediat, dar un membru al echipei sale, Lewis Latimer, un inventator afro-american, a găsit o metodă de fabricare a becurilor folosind un filament de carbon care putea dura aproximativ cincisprezece ore.[1]

[1] „Crearea lumii moderne”. (N.r.)

Cu toate acestea, exista o problemă: suprafața de sticlă a becului se înnegrea atunci când acesta funcționa, aproape ca şi cum particulele de carbon ar fi fost „transportate” de la filament la sticlă. În ciuda îmbunătățirii pe cât posibil a vidului, becurile continuau să se ardă. Acum ştim că acest lucru este cauzat de evaporarea filamentului, dar Edison nu ştia acest lucru pe atunci. Într-o încercare de a remedia problema, Edison a încercat să prindă particulele de carbon din mers, prin plasarea unui electrod suplimentar în bec şi a constatat, tot întâmplător, că acest lucru a provocat trecerea unui curent electric, dar numai într-o singură direcție. Nu a rezolvat problema înnegririi, dar dispozitivul părea să controleze fluxul de electricitate aşa cum o valvă controlează fluxul de apă. El a numit asta „efectul Edison”. Nu era interesat de felul în care acesta controla fluxul de curent electric; ştia doar că o făcea. Edison a depus o cerere de brevet pentru „becul Edison” şi apoi a renunțat la idee, deoarece nu i-a găsit nicio utilitate. Şi-a continuat munca la becuri, aducând mici îmbunătățiri pentru a prelungi, în cele din urmă, durata de viață a filamentului de carbon la 600 de ore, făcând becurile viabile din punct de vedere comercial. În ceea ce priveşte „becul Edison”, când cineva a întrebat mai târziu cum funcționează, Edison a răspuns că pur şi simplu nu avea timp să se preocupe şi de partea „estetică” a muncii sale. [17]

Omul care a avut timp să se preocupe de partea estetică – principiile care stau la baza acestei munci – a fost J.J. Thomson. În 1899, la numai doi ani de la descoperirea inițială a electronului, Thomson a arătat că, la fel ca tuburile catodice, filamentele din becuri emiteau electroni. Încălzirea filamentului din becurile Edison făcea ca electronii să sară în afară într-un proces pe care acum îl numim „emisie termionică”. Acest proces era foarte diferit de cel al filamentului care se evapora şi s-a dovedit a fi cheia

pentru a debloca efectul Edison. Invenția aparent inutilă a lui Edison a rămas nefolosită timp de aproape două decenii, până când lucrările lui Thomson au dezvăluit, în sfârşit, felul în care electrodul suplimentar făcea să circule curentul. Atunci când electrodul era încărcat pozitiv, acesta atrăgea fluxul de electroni prin vid şi completa circuitul, dar atunci când era încărcat negativ, respingea electronii şi întrerupea curentul. Cu această înțelegere deplină, „valva" lui Edison avea să-şi găsească utilitatea într-o lume care evolua rapid.

Următorul pas în povestea noastră a fost realizat în 1904, prin munca unui consultant al Companiei de telegrafie fără fir a lui Marconi, unde radioul şi telecomunicațiile începeau să apară. [18] Pentru a face ca un telefon să funcționeze, fizicianul britanic John Ambrose Fleming trebuia să transforme un curent slab alternativ într-un curent continuu. El auzise de efectul Edison în 1889, când era consultant la Edison and Swan United Electric Light Company[1], şi şi-a dat seama că exact asta putea face invenția valvei lui Edison. Semnalele minuscule emise de transmisiunile radio ar fi fost suficiente pentru a determina comutarea curentului din supapă. Legătura s-a creat brusc în mintea sa, scriind mai târziu:

„Spre încântarea mea [...], am descoperit că aveam, în acest tip special de lampă electrică, o soluție [...] „

Cunoaşterea tubului catodic a fost combinată cu becul cu filament şi astfel a fost inventată prima „diodă termionică" sau „valvă Fleming": primul dispozitiv electronic. Dacă dispozitivele electrice implicau fluxuri de electroni prin fire, dispozitivele electronice implicau mişcarea electronilor prin vid, care putea fi controlată rapid şi uşor, fără acționarea mecanică a dispozitivelor electrice anterioare. Invenția lui Fleming a provocat o revoluție tehnologică. Câțiva ani mai târziu, un inventator american a adăugat un al treilea

electrod în interiorul diodei termionice, folosindu-se de teoriile lui Thomson pentru a se ghida la fiecare pas. [2] În 1911, „trioda” era folosită ca amplificator şi, la scurt timp după aceea, fluxurile de electroni din tuburile cu vid au fost folosite ca oscilatoare, ca modulatoare de semnale electrice şi altele. Aceste dispozitive pur electronice au condus la radio şi telecomunicaţii pe distanţe mari, la radar şi la primele computere. S-a născut industria electronică.

Este important să ne oprim puţin asupra celor două abordări diferite aflate în joc în această poveste. Pe de o parte, abordarea motivată de curiozitatea lui Thomson cu siguranţă părea să fie cheia pentru înţelegerea funcţionării tuburilor cu vid, dar el nu avea niciun plan de a crea altceva decât cunoaştere. Pe de altă parte, metoda empirică a lui Edison a condus la succesul antreprenorial, dar acesta nu era interesat să înţeleagă în detaliu felul în care funcţionau aceste tehnologii şi motivele pentru care acestea funcţionau aşa cum funcţionau.

Fleming a reuşit, într-un fel, să combine aceste două abordări şi să creeze o tehnologie sofisticată. Toţi actorii au fost, fără îndoială, parte integrantă în formarea industriei electronice, dar nimic din toate acestea nu ar fi fost posibil fără oamenii de ştiinţă care au construit experimente cu tuburi catodice neavând în minte vreun scop comercial.

Când cauţi cunoaşterea şi înţelegerea prin intermediul procesului ştiinţific, în loc să încerci să inventezi un nou produs prin metode empirice, acesta tinde să aibă un efect cumulativ, căpătând în timp din ce în ce mai multă utilitate. Acest lucru a fost valabil pentru electron şi a fost valabil şi pentru razele X, deoarece cele două sunt legate. Odată cu naşterea industriei electronice, a fost posibil să se fabrice tuburi speciale pentru producerea de raze X, ceea ce a creat o piaţă înfloritoare a tuburilor cu raze X pentru uz medical şi industrial. Exemple ale acestor tuburi se află în galeria

Muzeului de Ştiinţă, chiar lângă tubul catodic al lui J.J. Thomson şi primele valve Fleming.

Restul poveştii razelor X se desfăşoară la doar câţiva paşi distanţă în muzeu, sub forma unui aparat medical de mari dimensiuni, care a devenit posibil datorită industriei electronice şi a razelor X, o tehnologie care salvează vieţi, cunoscută sub numele de tomografie computerizată (CT).

Înainte de anii 1970, dacă un pacient avea nevoie de o scanare a creierului, medicii făceau ceva numit „pneumoencefalografie". Se făcea o gaură la baza coloanei vertebrale sau direct în craniu şi aproape tot lichidul cefalorahidian (LER) era drenat din pacient. Apoi se pompa aer sau heliu înăuntru, pentru a crea o bulă între creier şi craniu. Pacientul era legat de un scaun care se roteşte în toate direcţiile şi era forţat să stea în diferite poziţii (de exemplu, cu capul în jos şi lateral) pentru ca bula de aer să se deplaseze în creier şi în coloana vertebrală, în timp ce se făceau radiografii în fiecare poziţie. Pacientul deja bolnav era forţat să sufere dureri îngrozitoare, greaţă şi cefalee şi, adesea, nu era nici măcar anesteziat în timpul procedurii. Toate acestea se făceau doar pentru a obţine suficient contrast în imaginea cu raze X pentru a putea face diferenţa între creier şi lichidul cerebral (acum drenat). După această experienţă chinuitoare, medicii examinau fotografiile cu raze X şi sperau să poată spune dacă forma creierului era uşor deformată din cauza unor leziuni sau excrescenţe în interiorul acestuia.

Era o procedură brutală. Cu toate acestea, a fost singura opţiune din 1919 până în anii 1970.

La acea vreme, razele X produceau doar imagini bidimensionale. Dacă îţi imaginezi corpul ca pe o cutie cu lichid în care se află o serie de obiecte (oase, organe şi muşchi), ar fi foarte dificil să vezi un obiect din mijlocul cutiei cu ajutorul razelor X, deoarece acesta ar fi ascuns de

tot ceea ce se află în fața şi în spatele lui. Medicii întâmpină dificultăți în a înțelege structurile tridimensionale reprezentate în două dimensiuni. Era nevoie de o inovație, una care să poată crea o imagine tridimensională adecvată.

În anii 1960, Godfrey Hounsfield, un angajat al EMI (Electric and Musical Industries), o mare corporație britanică producătoare, de asemenea, de electronice şi alte echipamente, căuta domenii în care calculatoarele ar putea fi utile şi a găsit o modalitate inedită de a le folosi pentru a realiza un dispozitiv medical cu raze X mai bun. El a avut ideea de a roti sursa şi detectorul în jurul pacientului pentru a obține o serie de imagini cu raze X care ar putea fi reconstruite digital cu ajutorul computerelor. Acest lucru a făcut posibilă capacitatea de a crea o imagine tridimensională completă a interiorului unui corp. A fost denumită „tomografie computerizată" sau CT.[21]

Pentru a-şi transforma ideea în realitate, a construit mai întâi o instalație experimentală a unui scaner cerebral. Pentru a-l testa, a luat din abatoarele locale creieri de vaci pentru a face imagini cu acestea. [22] Într-un interviu, a descris, cu o exprimare eufemistică tipic britanică, că a fost „o adevărată muncă să transporți [creierii] prin Londra într-o pungă de hârtie pentru a le pune în aparat". [23]

Primele sale teste au arătat, cu o claritate surprinzătoare, o imagine tridimensională completă a țesutului organic din interior. Tomograful a arătat chiar şi diferențe minuscule în țesuturi despre care Röntgen credea că nu ar fi fost niciodată posibile: țesuturile din primele sale radiografii erau transparente, dar combinarea mai multor imagini însemna că acum puteau fi văzute. A fost nevoie de putere de calcul, de o instalație rotativă şi de o matematică inteligentă, dar tehnica a funcționat. Scanerul cerebral a fost testat la Spitalul Atkinson Morley din Londra în 1971. Acesta consta dintr-un pat mobil special conceput, pe care

pacientul stătea întins, cu capul poziționat într-o deschizătură circulară care adăpostea echipamentul de scanare – nu foarte diferit, de fapt, de felul în care arată astăzi.

Primul pacient care a fost scanat în 1971 a fost o femeie despre care se bănuia că are o tumoră în lobul frontal stâng. Tomografia computerizată a reuşit să identifice tumora şi, ca urmare, aceasta a fost operată, pacienta redobândindu-şi sănătatea. Abia atunci Hounsfield şi echipa sa „au țopăit ca fotbaliştii care au reuşit să dea golul câştigător”. [24] În cele din urmă, şi-a dat seama de implicațiile realizării sale, care a pus capăt chinurilor provocate de radiografiile craniene tradiționale.

Hounsfield nu s-a oprit la scanerul cerebral, care a fost anunțat lumii în 1972. El a continuat şi a construit un aparat care putea dezvălui funcționarea internă a restului corpului uman. În 1973, primele tomografe computerizate erau instalate în spitalele din Statele Unite ale Americii, iar până în 1980, trei milioane de tomografii computerizate au fost efectuate în întreaga lume. În timp, tomografele computerizate au devenit atât de răspândite, încât, în 2005, se efectuau şaizeci şi opt de milioane de tomografii pe an.

De atunci, idei noi au dus la imagistica în timp real, la combinații cu alte tehnici imagistice (pe care ți le voi prezenta mai târziu) şi la utilizarea tomografiei ca tehnică de primă linie în departamentele de urgență. Dacă în anii 1970 putea dura o jumătate de oră pentru a realiza o imagine, aparatele moderne pot face acest lucru în mai puțin de o secundă. În prezent, există chiar tehnici de tomografie care îi ajută pe medici să navigheze tridimensional prin inimă în timpul inserției de stenturi, îmbunătățind rata de succes a procedurii. În plus, structurile interne imaginate cu ajutorul tomografiei computerizate pot fi imprimate cu ajutorul imprimantelor tridimensionale pentru a-i ajuta pe medici să

înțeleagă ce se întâmplă cu adevărat în interiorul unui pacient, în timp ce planifică intervențiile chirurgicale şi implanturile, totul fără măcar o singură incizie în piele. Tehnologia şi capacitățile continuă să se îmbunătățească, concentrându-se pe creşterea vitezei de scanare, pe reducerea dozei de radiații şi pe obținerea unor imagini tridimensionale din ce în ce mai detaliate.

Călătoria de la descoperirea razelor X la tomografele computerizate moderne a avut nevoie de peste şaptezeci de ani pentru a ajunge la final. A fost nevoie de o serie de invenții, de descoperiri în domeniul tehnicilor matematice şi de apariția calculatoarelor pentru ca toate acestea să se coaguleze. Poți observa o formă sau alta a acestei tehnologii în aproape orice spital din lume. Dacă i-ai fi întrebat pe medicii din vremea lui Röntgen cum ar putea să-şi îmbunătățească cunoştințele despre interiorul corpului uman, aceştia ți-ar fi putut răspunde „prin găsirea unui bisturiu mai bun”. Röntgen şi Thomson au căutat să îmbunătățească înțelegerea unui domeniu aparent obscur al fizicii care a permis ca descoperirile lor să ofere un instrument complet nou, iar acesta a putut apoi fi perfecționat de Hounsfield şi de alții pentru a revoluționa medicina.

Bineînțeles, medicina nu este singurul domeniu al societății care a beneficiat de razele X. Odată ce le vezi în uz, îți dai seama că sunt peste tot. Fii atent la aparatele de scanare a bagajelor cu raze X data viitoare când treci printr-un aeroport: şi acestea şi-au avut originea într-un laborator din Würzburg. Dincolo de aplicațiile de securitate, lumea noastră materială şi fizică se bazează pe cunoştințele despre razele X. Companiile care fabrică obiecte, de la conducte de petrol la avioane, de la poduri la scări, folosesc acum imagistica cu raze X pentru a se asigura că produsele lor respectă standardele. Acolo unde apare o fisură sau există o

bulă de aer, razele X o vor scoate la iveală, la fel cum ar fi făcut-o în experimentele originale ale lui Röntgen. Această tehnică de „testare nedistructivă” este o parte ascunsă a lumii create de om în jurul nostru, dar este şi motivul pentru care ţevile noastre rareori se sparg şi avioanele rareori cad din cer. Defectuoscopia nedistructivă este un domeniu în valoare de 13 miliarde de dolari, în continuă creştere, iar razele X reprezintă aproximativ 30% din piaţă.

A fost nevoie de o jumătate de secol pentru electronică şi de aproape un secol întreg pentru ca razele X să îşi realizeze potenţialul actual, dar chiar şi povestea abordată în acest capitol este doar un instantaneu. Povestea completă se întinde de-a lungul câtorva secole de acumulare treptată de cunoştinţe şi tehnologie, de la primul vid de laborator creat în 1643 de Evangelista Torricelli până la inventarea în 1654 a primei pompe de vid de către Otto von Geuricke. A fost nevoie de suflători de sticlă experţi pentru a crea un aparat precis, dar delicat, cu îmbinări bine etanşate pentru a menţine vidul. Era nevoie de un echipament care să poată furniza tensiuni suficient de mari pentru a smulge electronii din catozii metalici. Aşadar, întregul proces se întinde pe mai multe generaţii, chiar dacă pare că descoperirea s-a produs într-o clipită.

Este pur şi simplu uimitor felul în care experimentele cu tubul catodic efectuate între 1895 şi 1897 au extins viziunea noastră asupra spectrului electromagnetic, au distrus ideea că atomii sunt cele mai mici particule din natură şi au dus la descoperirea primei particule subatomice. Dacă cineva ar fi fost rugat să prezică rezultatul acestor experimente, ar fi eşuat cu desăvârşire în estimarea impactului lor asupra cunoştinţelor noastre de fizică. Dar ar fi greşit şi mai mult dacă i s-ar fi cerut să prezică impactul asupra societăţii.

Celălalt punct comun al descoperirilor lui Röntgen şi Thomson este faptul că acestea au fost adoptate rapid în

tehnologie. Ambele idei au devenit parte integrantă a inovațiilor din domeniile electronicii şi al echipamentelor medicale de salvare a vieților care au avut loc în deceniile următoare. Cu toate acestea, conceptele fundamentale pe care s-au bazat aceste tehnologii nu au venit din industrie. Ele au provenit de la minți curioase care au făcut experimente în efortul de a spori cunoaşterea noastră colectivă. Astăzi, mulți oameni asociază expresia „tub catodic" cu televizoarele de tip vechi, dar este mult mai mult decât atât. Reprezintă puterea pe care o are cercetarea motivată de curiozitate de a duce la inovații revoluționare.

Experimentele cu tuburi catodice au răsturnat ideea că fizica era aproape terminată. Odată cu începuturile fizicii subatomice, noi perspective s-au deschis pentru oamenii de ştiință curioşi. Următoarele experimente cheie aveau să vină de la unul dintre studenții lui Thomson, când fizicienii au început să se întrebe: ce altceva mai este în interiorul atomului?

Capitolul 2

Experimentul cu folia de aur: structura atomului

Ernest Rutherford se afla în Montreal de doar câteva luni, când a primit o invitație la o dezbatere din partea Societății de Fizică locale. Era anul 1900, iar tema era „existența corpurilor mai mici decât atomii". Nerăbdător să participe, Rutherford i-a scris fostului său îndrumător, J.J. Thomson, că spera să îl distrugă pe adversarul său, Frederick Soddy, un chimist format la Oxford, cu şase ani mai tânăr decât el. Soddy fusese întotdeauna intrigat de problemele de la interfața dintre fizică şi chimie, dar, în Rutherford, avea să găsească un fizician care a zdruncinat însuşi fundamentul chimiei. [1] Dezbaterea avea să dea startul uneia dintre cele

mai uimitoare serii de descoperiri din ştiinţă şi să determine nu doar oamenii de ştiinţă, ci şi artiştii, filosofii şi istoricii, să îşi regândească complet ipotezele despre lumea din jurul lor.

Soddy a vorbit primul. Era un bărbat înalt, blond, cu aspect serios şi ochi albaştri. Cel mai mic dintre cei şapte fraţi născuţi în sudul Angliei, în timpul şcolii, s-a luptat cu un impediment de vorbire şi şi-a transformat fosta cameră în care a crescut într-un laborator de chimie unde putea face experimente, fiind uneori aproape de a da foc casei. Avea două valori bine stabilite: adevărul şi frumuseţea.[2]

Soddy era acolo pentru a apăra atomul. Poziţia sa era că electronul descoperit de Thomson şi alţii trebuie să fie ceva diferit de „materia" pe care el şi alţi chimişti o cunoşteau. „Chimiştii vor păstra o convingere şi o venerație față de atomi ca fiind încă identităţi permanente şi concrete, dacă nu imuabile, cu siguranţă încă netransmutate", a spus el. I-a lansat o provocare lui Rutherford: „poate că profesorul Rutherford va reuşi să ne convingă că materia aşa cum o cunoaşte el este cu adevărat aceeaşi materie pe care o cunoaştem noi".[3]

Rutherford a intervenit pentru a-şi apăra poziţia. Potrivit lui Rutherford, electronii făceau parte din materia obişnuită. El a descris munca lui Thomson şi a celor dinaintea lui, oameni precum Heinrich Hertz şi Philipp Lenard în Germania, Jean Perrin în Franţa şi William Crookes în Anglia. A trecut în revistă experimentele lui Thomson pentru descoperirea electronului şi a explicat că, din moment ce electronii par să provină din materie, ei trebuie să facă parte din atom. Rutherford a explicat atât de bine noile rezultate experimentale, încât a convins publicul format din studenţi şi angajaţi ai Universităţii MeGill că ar trebui să renunţe la ideea pe care o îmbrăţişaseră de mult timp, conform căreia atomii sunt cele mai mici şi imuabile elemente constitutive

ale materiei. Dar, deşi Rutherford poate că a câştigat dezbaterea, au rămas multe întrebări cu privire la ceea ce se întâmpla în interiorul materiei. Chimiştii şi fizicienii au rămas divizaţi.

Rutherford – Ern pentru prietenii săi – era fizician, dar nu se încadra deloc în stereotipul fizicianului introvertit, ba dimpotrivă. Era înalt, atletic şi vorbea cu o voce atât de puternică, încât perturba echipamentele ştiinţifice sensibile din laboratorul său. Frustraţi, studenţii săi au construit, în cele din urmă, un panou luminos complex care atârna deasupra experimentelor lor şi pe care scria „Vorbiţi încet, vă rugăm!" Potrivit scriitorului pe teme ştiinţifice Richard P. Brennan, Rutherford nutrea „convingerea profundă că înjurăturile în cadrul unui experiment îl făceau să funcţioneze mai bine şi, având în vedere rezultatele sale, s-ar putea să fi avut dreptate".[4]

Rutherford a sosit la Universitatea MeGill arătând puţin prea tânăr pentru noul său rol de profesor de fizică, cariera sa fiind accelerată de recomandarea puternică a vechiului său sfătuitor Thomson. Cu doar câţiva ani mai devreme, Rutherford se mutase din Noua Zeelandă, ţara sa natală, în Anglia, şi în valul în creştere al noilor descoperiri din domeniul radiaţiilor, plonjând cu entuziasmul unei minţi tinere şi strălucite care dorea să-şi demonstreze valoarea. S-a impus rapid ca student vedetă la Cambridge, dând dovadă de independenţă în cercetările sale în timp ce mentorul său era ocupat (deşi, ca să fim corecţi, mentorul său descoperea electronul în acel moment).

Descoperirea radioactivităţii a avut loc oarecum întâmplător, în 1896, când fizicianul francez Henri Becquerel studia luminescenţa unor cristale de uraniu.

În 1898, Marie Curie a descoperit radiaţiile emise de elementul chimic toriu şi, împreună cu soţul ei, Pierre, care i s-a alăturat în activitatea de cercetare, au anunţat

descoperirea poloniului[5] şi a radiului şi au dat numele radioactivității, toate într-un singur an important. În timpul studiilor postuniversitare de la Cambridge, Rutherford s-a alăturat acestui demers şi a demonstrat că există cel puțin două tipuri distincte de radiații: radiația alfa, care poate fi oprită cu o bucată de hârtie, şi radiația beta, care poate fi oprită cu un bloc de lemn.

Radiațiile alfa, beta şi, câțiva ani mai târziu, gamma, au fost denumite cu ajutorul primelor trei litere din alfabetul grecesc. La început, natura lor a fost necunoscută, deşi nu a durat mult până când Becquerel a identificat radiațiile beta ca fiind electroni în 1899, iar Rutherford şi-a dat seama că radiațiile alfa constau în atomi de heliu care pierduseră doi electroni – ceea ce le dădea o sarcină electrică dublu pozitivă – în 1907. Deşi nu se ştia la acea vreme, radiațiile gamma constau în lumină de înaltă energie, similară razelor X.

Descoperirile lui Rutherford în domeniul radioactivității i-au atras cu siguranță atenția lui Thomson.

Cu noua sa catedră la MeGill, cu primul său grup de cercetare şi cu propriul său laborator, Rutherford a dorit să aprofundeze şi mai mult fenomenul radioactivității. Canada îi oferea o atmosferă destul de diferită de cea de la Cambridge, dar care părea să-l elibereze de constrângerile sociale ale unei vechi universități engleze, astfel încât să poată face ceea ce dorea. Țintea foarte sus: dorea să înțeleagă structura atomului.

După primele lor controverse din 1900, între Soddy şi Rutherford au apărut un interes şi o colaborare autentice, fiecare dintre ei devenind din ce în ce mai curios să înțeleagă munca celuilalt. Soddy a fost atât de interesat să afle mai multe despre radiații, încât a participat la un curs avansat pe care îl preda Rutherford, învățând astfel despre razele X, radiațiile emise de uraniu şi toriu, precum şi lucrări practice despre cum să folosească un electrometru.

Chimist fiind, el a fost cel mai mult impresionat de electrometru, care putea detecta cantități minuscule de toriu pe baza radiațiilor pe care le emitea. Era o metodă mult mai sensibilă decât simpla cântărire a materialelor, aşa cum făceau chimiştii. De fapt, metoda electrică putea detecta o cantitate de material de 10^{12} (1 000 000 000 000) ori mai mică decât cea mai precisă balanță analitică folosită de chimişti.

Între timp, Rutherford a luat în primire primul student postuniversitar: o femeie pe nume Harriet Brooks. La acea vreme, era extrem de rar ca femeile să urmeze studii postuniversitare, deşi probabil că succesul lui Marie Curie a avut o anumită influență. Brooks, al treilea dintre cei nouă copii ai familiei sale, provenea dintr-un orăşel la vest de Ontario. Tatăl ei era un vânzător ambulant de făină şi adesea copiii nu prea aveau ce să mănânce. Se ştiu dezamăgitor de puține lucruri despre cum şi-a descoperit dragostea pentru fizică, despre personalitatea sau comportamentul ei: aceste lucruri pur şi simplu nu au fost consemnate în scris. [7] Ceea ce pare clar este că a simțit ce i-ar putea aduce educația superioară: posibilitatea de a scăpa de casa familiei şi de a deveni independentă. După patru ani la MeGill, a ieşit de acolo cu onoruri de primă clasă şi cu o serie de burse câştigate la matematică şi germană, ceea ce a uşurat nevoia familiei sale de a o susține. Era o studentă atât de performantă, încât era firesc ca Rutherford – care nu avea niciun fel de prejudecăți cu privire la femeile care făceau cercetare – să o invite să lucreze cu el.

Împreună, Brooks şi Rutherford au cercetat elementul toriu, descoperind că acesta avea o „emanație" misterioasă, un fel de gaz care nu semăna cu nimic din ceea ce văzuseră până atunci. Acest lucru era destul de ciudat, dar au descoperit, de asemenea, că emanația părea să facă obiectele din apropiere radioactive.

Adică, atunci când emanația intra în contact cu un obiect, părea să afecteze obiectul, astfel încât acesta emitea spontan radiații alfa, beta sau gamma, la fel ca materialele radioactive naturale precum radiul şi poloniul.

Brooks a câştigat o bursă pentru lucrarea de doctorat sub îndrumarea lui Rutherford şi a folosit-o pentru a călători din Canada în Anglia în 1902 pentru a lucra cu J.J. Thomson, devenind prima femeie care a studiat la Laboratorul Cavendish. Pe baza rezultatelor ei, Rutherford a început să se gândească la faptul că o persoană care se pricepea la tehnicile folosite în chimie l-ar putea ajuta să înțeleagă ce se întâmpla şi l-a invitat pe Soddy să colaboreze cu el, care a acceptat imediat, abandonându-şi activitatea de cercetare anterioară.[8]

Soddy a continuat munca lui Brooks folosind metode chimice, încercând să vadă dacă emanația de toriu ar reacționa cu diferiți agenți chimici, dar fără niciun rezultat. A constatat că temperatura experimentului nu avea niciun efect şi nici plasarea experimentului în dioxid de carbon în loc de aer. Se părea că emanația era un fel de gaz inert. Era sigur că nu era toriu, ci era creat cumva de toriu.

În cele din urmă, s-a prins. Toriul se transforma în gaz. Atomii de toriu îşi schimbau spontan forma. Nu era chiar visul alchimistului de a transforma plumbul în aur, dar atomii se schimbau. „Transfigurat de importanța colosală a lucrurilor”, Soddy a exclamat: „Rutherford, aceasta este transmutație!”

*

Acum ştim că Rutherford şi Soddy observau dezintegrarea elementelor radioactive, care se transformă în alte elemente prin emiterea de particule alfa şi beta, formând, în cele din urmă, substanțe stabile. Se pare că natura făcea gratuit alchimie încă de la început. Soddy, care cu doar câțiva ani mai devreme insistase asupra faptului că atomii chimici

erau imuabili, găsise dovezi care îi răsturnaseră complet viziunea asupra lumii.

Ei au stabilit în continuare faptul că dezintegrarea radioactivă urmează o lege exponențială. Există un anumit interval de timp, cunoscut sub numele de „timp de înjumătățire", în care jumătate dintre atomii dintr-un material radioactiv se transformă într-un alt tip de atom. Dacă începi cu o sută de atomi de oxigen-15 (un tip de oxigen radioactiv cu o masă atomică de cincisprezece ori mai mare decât cea a unui atom de hidrogen), în două minute rămân doar cincizeci de atomi. Ceilalți cincizeci se transformă în azot-15. Peste alte două minute, rămân doar douăzeci şi cinci de atomi (50 ÷ 2). În alte două minute rămân 12,5 atomi şi aşa mai departe. (Practic, nu poți avea jumătate de atom, dar „timpul de înjumătățire" de două minute rămâne acelaşi.) Materia nu mai era substanța stabilă şi neschimbătoare care păruse dintotdeauna să fie.

Ideile lui Rutherford şi Soddy erau radicale pentru standardele de la începutul secolului XX, prin urmare, comunitatea ştiințifică a avut reacții mixte. La Londra, cea mai importantă figură a fizicii britanice, Lord Kelvin (William Thomson), a refuzat pur şi simplu să creadă în dezintegrarea atomilor. Chimiştii, care credeau în indestructibilitatea materiei, au fost şi ei consternați de implicațiile acestei descoperiri. La MeGill, năzdrăvăniile şi teoriile lui Rutherford privind radioactivitatea au început să-i deranjeze şi pe ceilalți profesori. Restul personalului didactic credea că ideile sale neortodoxe despre materie ar putea discredita universitatea. Membrii Societății de Fizică, unde el şi Soddy dezbătuseră problema, au fost extrem de critici şi l-au sfătuit să amâne publicarea şi să fie mai precaut. [1] La un moment dat, colegii săi profesori l-au chemat la o şedință şi i-au spus pe şleau să se mai

potolească. Rutherford a ieşit din sală, abia reuşind să se stăpânească.

Nu avea să se supună prea mult timp. În 1904, în timp ce se plimba prin campus, l-a întâlnit pe profesorul de geologie Frank Dawson Adams. Fără niciun preambul, l-a întrebat pe Adams cât de vechi ar trebui să fie Pământul. Adams s-a hazardat să ofere o apreciere de 100 de milioane de ani, pe baza diverselor metode de estimare de la acea vreme. Rutherford şi-a băgat mâna în buzunar, a scos o piatră neagră şi a spus:

— Adams, ştiu fără nicio îndoială că această bucată de pehblendă din mâna mea are o vechime de şapte sute de milioane de ani.

După care a plecat.

Rutherford şi-a dat seama că materia radioactivă din natură, aflată în continuă dezintegrare, putea fi folosită pentru a estima vârsta Pământului. Rocile conţineau o cantitate mică de atomi radioactivi pe care el şi Soddy îi studiaseră.

Dacă ştia rata de dezintegrare de la un atom la altul, ar fi putut compara numărul de atomi nedezintegraţi cu numărul de particule „fiice” şi ar fi putut calcula cât timp a existat obiectul. Rutherford a venit cu ideea de „datare radiometrică”.

Primele sale estimări s-au bazat pe uraniu-238, unde „238” se referă la masa atomică. Elementele cu număr de masă diferit se numesc izotopi şi pot avea proprietăţi radioactive diferite, chiar dacă sunt acelaşi element chimic (Soddy a descoperit izotopii şi a inventat termenul în 1913). Uraniu-238 are un timp de înjumătăţire de 4,51 miliarde de ani şi se dezintegrează lent printr-o serie de etape intermediare pentru a forma plumb-206, care este stabil. Cu ajutorul unor estimări aproximative ale timpilor de înjumătăţire din laboratorul său, Rutherford a comparat

cantitatea de uraniu şi plumb dintr-o mostră de pehblendă şi a descoperit că aceasta era mult mai veche decât vârsta presupusă a Pământului.

Era ceva şi să se dea mare în faţa profesorilor de geologie, dar tot trebuia să-i convingă pe fizicieni şi chimişti că avea dreptate în privinţa transmutaţiei atomilor. Rutherford a călătorit în Anglia, unde, la 20 mai 1904, a ţinut un discurs la Royal Instituţion şi şi-a prezentat descoperirile despre radioactivitate.

În public, l-a zărit pe Lord Kelvin. Kelvin se împotrivea deja ideii dezintegrării atomilor, iar Rutherford ştia că ultima parte a discursului său, când plănuia să vorbească despre vârsta Pământului, va fi deosebit de dificilă pentru el. Kelvin era considerat autoritatea supremă când venea vorba de vârsta planetei noastre, în baza unui calcul pe care îl făcuse cu privire la rata de răcire a Pământului. [11]

Rutherford îşi amintea: „Spre uşurarea mea, Kelvin a adormit buştean, dar, când am ajuns la punctul important, am văzut că bătrânul s-a ridicat, a deschis un ochi şi mi-a aruncat o privire răutăcioasă! Apoi mi-a venit o inspiraţie bruscă şi am spus că lordul Kelvin a limitat vârsta Pământului, cu condiţia să nu fie descoperită o nouă sursă [de energie]. Această afirmaţie profetică se referă la ceea ce analizăm acum în această seară, radiul! Priviţi! Bătrânul s-a uitat la mine cu alţi ochi”. [12]

Pe măsură ce au sosit dovezi de la alte laboratoare, acestea au confirmat ideea că multe elemente erau instabile şi aveau durate de înjumătăţire. Lordul Kelvin şi-a abandonat public poziţia anterioară împotriva radioactivităţii la o reuniune a Asociaţiei Britanice pentru Progresul Ştiinţei şi, ca urmare, a fost nevoit să plătească un pariu unui alt fizician, lord Rayleigh. Restul comunităţii a acceptat încet-încet faptul că radioactivitatea se producea, într-adevăr, aşa cum presupuseseră Rutherford şi Soddy.

Când a primit premiul Nobel pentru chimie în 1908, Rutherford a remarcat că fusese martor la multe transformări în laboratorul său, dar niciuna la fel de rapidă ca transformarea sa bruscă din fizician în chimist. Soddy a obținut şi el premiul Nobel în 1921 pentru contribuțiile sale la radiochimie, fiind nominalizat de Rutherford. În ceea ce o priveşte pe Harriet Brooks, aceasta se afla la Cambridge în 1902, când Soddy şi Rutherford au descoperit transmutația, dar J.J. Thomson era prea preocupat pentru a-i observa activitatea. În 1903, s-a întors în Canada şi a continuat să producă cercetări excelente în domeniul radioactivității până când s-a logodit în 1905, moment în care facultatea la care preda i-a spus că va trebui să-şi părăsească locul de muncă dacă se căsătoreşte. [13]

Ea a rupt logodna şi a continuat să lucreze. În 1907, după ce a cunoscut-o pe Madame Curie la Paris şi apoi a lucrat cu ea, Brooks s-a confruntat cu o alegere dificilă. Un alt profesor canadian, fostul ei laborant, începuse să-i facă apropouri romantice printr-o serie de scrisori. Avea treizeci şi unu de ani, iar presiunea socială de a se căsători şi de a avea copii era intensă. Rutherford – pe atunci în Manchester – a făcut tot posibilul pentru a se asigura că va fi independentă din punct de vedere financiar, încercând să o angajeze. În scrisoarea sa de recomandare, a atestat că era cea mai importantă femeie fizician în domeniul radioactivității, alături de Curie. În cele din urmă, Brooks a ales să accepte oferta de căsătorie şi s-a mutat înapoi în Canada, unde a avut trei copii. Cariera ei în fizică s-a încheiat. Abia în anii 1980 i-a fost recunoscută activitatea ca fiind parte integrantă a descoperirii lui Rutherford şi Soddy, potrivit căreia elementele se dezintegrează şi se transformă în alte elemente. [14]

Pentru majoritatea oamenilor, Nobelul este un apogeu al carierei, dar pentru Rutherford se va dovedi a fi doar primul

pas. Încă nu răspunsese la întrebarea inițială: care este structura atomului? Devenise renumit pentru capacitatea de a face salturi imaginative şi de a le urma cu experimente simple, dar puternice. În 1907, s-a întors în Marea Britanie pentru a conduce departamentul de fizică de la Universitatea din Manchester. Ceea ce a descoperit în continuare avea să le ceară fizicienilor şi chimiştilor să facă un salt şi mai mare în gândire, bazat pe una dintre cele mai simple, dar şi cele mai cunoscute investigații din fizică: experimentul cu folia de aur.

În ciuda numeroaselor progrese obținute, experimentele pe care Rutherford le elaborase până în 1908 erau încă foarte primitive. El însuşi şi-a descris cel mai bine abordarea: „nu avem bani, aşa că va trebui să ne punem mintea la contribuție". Studenții şi personalul din grupul de cercetare al lui Rutherford erau renumiți pentru că foloseau lucruri precum cutii de conserve, cutii de tutun şi ceară roşie, combinate cu multă muncă asiduă. Exista bucurie în a descoperi cum să testezi natura folosind metode nesofisticate, dar inteligente. Unul dintre studenții săi, fizicianul australian Mark Oliphant, avea să scrie mai târziu: „Era plin de idei, dar erau întotdeauna idei simple. Îi plăcea să folosească cuvinte pentru a descrie ceea ce se întâmpla". [15] La fel s-a întâmplat şi cu viziunea sa asupra atomului.

Rutherford şi-a expus ideea pe care o avea despre atom la începutul secolului XX ca fiind „ceva frumos şi tare, de culoare roşie sau gri, după gust". Este uşor să ne imaginăm că micii atomi care alcătuiesc mâncarea, corpul şi planeta noastră sunt ca nişte mici bile de biliard, o imagine care ne este adesea predată la şcoală. [1] În 1908, deşi trecuseră zece ani de la descoperirea electronului de către Thomson, fizicienii încă nu aveau o idee bine conturată despre structura internă a atomului. Dar Rutherford începea să

aibă o bănuială că radioactivitatea şi compoziția atomului erau strâns legate.

Punctul de vedere al lui Thomson şi al multor altora era că atomul este o sferă cu sarcină pozitivă, cu electroni cu sarcină negativă încorporați în ea – poreclit „modelul cozonacului cu stafide”. Mai existau şi alte câteva idei, cum ar fi modelul „saturnian”, propus de fizicianul japonez Hantaro Nagaoka, care presupunea „o masă centrală cu putere de atracție, înconjurată de inele de electroni în rotație”, însă nu existau dovezi care să sugereze că acest model era precis în vreun fel. [17] Rutherford îl prețuia foarte mult pe Thomson, dar începuse să se îndoiască de vechiul său sfătuitor.

Domeniul lui Rutherford se extindea, la fel şi responsabilitățile sale. El supraveghea acum un întreg departament la Manchester, găzduit într-o impresionantă clădire din cărămidă roşie, cu laboratoare şi birouri construite special. Rutherford şi-a rezervat unul dintre ele ca laborator personal. La fel ca multe dintre celelalte laboratoare, acesta avea podele din lemn masiv, iar pereții erau acoperiți cu gresie: gresie galben-muştar lângă podea, o dungă roşu-închis la înălțimea biroului, apoi gresie crem care se întindea până la tavan. Poate că părea auster, dar era un loc eminamente practic. Aici, Rutherford a putut să se apuce de explorat întrebarea despre cum arată cu adevărat atomul în interior.

Sau, mai degrabă, au putut personalul şi studenții săi.

Ca director al laboratorului, Rutherford ar fi fost prea ocupat pentru a realiza majoritatea experimentelor cu mâinile sale, chiar dacă ar fi vrut să o facă. În schimb, sarcina sa era să adune o echipă de oameni care să colaboreze pentru atingerea obiectivelor laboratorului, în timp ce el trecea pe acolo în timpul vizitelor pentru a vedea rezultatele, a da sugestii şi a menține motivația. Într-una

dintre aceste vizite în laborator, Rutherford l-a întâlnit pe Ernest „Ernie”

Marsden, un student în vârstă de douăzeci de ani din Lancashire, care era un pachet de energie şi entuziasm. Rutherford era înalt ca bradul, iar Marsden era puțin mai scund decât el, primul fiind mai înalt decât toți ceilalți. Fiu al unui țesător de bumbac, Marsden a crescut adorând muzica şi literatura, precum şi ştiința şi a ales să studieze fizica influențat de profesorii din liceu. Avea un râs contagios şi, potrivit colegilor săi, era întotdeauna o bucurie să fii în preajma lui. [18] Marsden avea nevoie de un proiect de cercetare pentru teza sa de licență.

Rutherford i-a lansat o idee.

În Canada, Rutherford observase că, atunci când trecea particule alfa printr-o bucată subțire de metal, acestea formau o imagine neclară pe o placă fotografică.

Dacă foaia de metal era îndepărtată, imaginea din fotografie era clară. Particulele alfa păreau să fie împrăştiate, poate deviate de atomii din metal, dar nu ştia de ce. Era un efect infim, unul peste care majoritatea oamenilor ar fi trecut probabil cu vederea. Rutherford l-a încurajat pe Marsden să facă experimente pentru a verifica efectul mai în detaliu.

Pentru a-l consilia pe Marsden, Rutherford l-a pus să lucreze sub supravegherea lui Hans Geiger, un fizician de origine germană, cu şase ani mai mare decât el.

Geiger se născuse la Neustadt, în Renania-Palatinat, un frumos district viticol.

Era fascinat de lumea naturală şi elabora experimentele cu plăcere şi mândrie. Îşi terminase recent doctoratul şi se mutase la Manchester când a sosit Rutherford.

Mai târziu, avea să devină cunoscut pentru inventarea contorului Geiger cu acelaşi nume. Rutherford le-a pus la

dispoziție celor doi tineri laboratorul său personal pentru experimentele lor.

Membrii grupului lui Rutherford studiaseră deja felul în care electronii se dispersează atunci când trec prin metale. Aceştia au descoperit că electronii suferă o serie de coliziuni cu atomii de metal, iar câțiva electroni sunt deviați înapoi în direcția din care sosiseră. Acum se punea întrebarea cum se vor comporta particulele alfa într-un experiment similar. Particulele alfa (sau nucleele de heliu, aşa cum le cunoaştem acum) sunt de aproximativ 7 000 de ori mai grele decât electronii, iar acest statut de categoria grea înseamnă că este nevoie de o forță mare pentru a le face să îşi schimbe cursul în timpul deplasării.

Intuitiv, acestea ar trebui să treacă direct printr-o bucată subțire de metal. Cu toate acestea, faptul că Rutherford observase că particulele alfa formau o imagine neclară atunci când le trimitea prin foaia de metal era destul de interesant. Întrebările erau clare: dacă trimiteau particule alfa una câte una înspre metal, cum ar fi afectat grosimea metalului felul în care acestea se dispersau şi deviau?

A fost un bun antrenament pentru Marsden să ajute la pregătirea unui experiment, iar asta era ceva tipic pentru laboratorul lui Rutherford. Acest tip de experimente presupunea ore întregi de privit prin microscop la un ecran şi de numărat micile sclipiri de lumină de la particulele alfa. Era nevoie de timp şi de rezistență, aşa că Geiger şi Marsden s-au pus pe treabă.

Experimentul se baza pe o variantă a unui tub cu vid. În loc să construiască un tub catodic, care producea electroni, au vrut să folosească, în schimb, particule alfa. La un capăt al tubului au plasat o sursă alfa radioactivă puternică, făcută din radiu, iar apoi au etanşat celălalt capăt cu o fereastră făcută din mică, un material subțire prin care particulele alfa puteau trece. Au înclinat tubul la 45 de

grade pe o bucată groasă de metal şi, pe unghiul reflectat de 45 de grade, au plasat un ecran detector din sulfură de zinc care emitea o sclipire de lumină când era lovit de o particulă alfa. S-au asigurat că au plasat plumb între tubul emițător de particule alfa şi detector, pentru a împiedica particule alfa rătăcitoare să călătorească direct spre detector şi să perturbe rezultatele. Configurația a fost concepută astfel încât să fie detectate numai particulele alfa care erau cu adevărat reflectate de metal. Geiger şi Marsden s-au aşezat apoi pe poziții pentru a urmări licăririle de pe ecran.

Mai întâi, au observat ce se întâmpla când particulele alfa loveau suprafața unei bucăți groase de metal. Aşa cum se întâmpla şi cu electronii, câteva dintre particulele alfa au fost reflectate. Pentru foile groase de metal, până acum, particulele alfa se comportau aproximativ ca electronii. În interiorul metalului, se aştepta ca deflecția particulelor alfa de la fiecare atom în parte să fie mică. O foaie groasă de metal conține multe straturi de atomi şi, deşi particulele alfa sunt de 7 000 de ori mai grele decât electronii, rezultatul le-a confirmat previziunile conform cărora chiar şi aceste proiectile grele se pot întoarce uneori asupra lor însele după suficiente coliziuni. A contat tipul de metal? Se pare că da. Metalele fabricate din elemente mai grele, cum ar fi aurul, au reflectat mai multe particule alfa decât cele uşoare, cum ar fi aluminiul.

În continuare, Geiger şi Marsden au verificat dacă grosimea metalului era importantă. Ei s-au gândit că, dacă ar fi făcut folia de metal suficient de subțire, particulele alfa ar fi trecut toate prin ea, dar s-ar fi putut dispersa puțin, aşa cum observase Rutherford. Au ales aurul pentru această parte a experimentului, deoarece putea fi uşor de tras în folii subțiri. Au modificat treptat grosimea foliei de aur şi au verificat câte „scintilații” au observat pe ecran. Pe măsură ce grosimea foliei era redusă, particulele alfa păreau

să înceapă să treacă direct prin ea, aşa cum era de aşteptat. Dar apoi au observat ceva ciudat: indiferent cât de subțire au făcut folia de aur, ecranul de sulfură de zinc se aprindea ocazional.

Aproximativ una din 8 000 de particule alfa părea să ricoşeze din folie şi să lovească ecranul. Nu era vorba doar de un simplu ghiont care modifica uşor direcția particulelor alfa, ci de un efect uriaş care devia complet particulele alfa şi le trimitea spre ecran ca şi cum ar fi fost reflectate de folie. Dar cum se putea întâmpla aşa ceva? În interiorul atomilor de aur nu exista nimic din ceea ce ştiau care să poată provoca acest efect. Părea să sfideze toate legile cunoscute ale fizicii. Cum putea o particulă alfa grea să fie deviată de electroni minusculi sau de sarcina pozitivă difuză a atomului?

Geiger şi Marsden i-au adus vestea lui Rutherford. Mai târziu, acesta a descris-o ca fiind „cel mai incredibil eveniment care mi s-a întâmplat vreodată în toată viața mea". A fost aproape la fel de incredibil ca şi cum ai trage cu un obuz de 38 de centimetri într-un şervețel iar acesta ar ricoşa şi te-ar lovi". După ce a auzit rezultatele, Rutherford a trebuit să se gândească la toate explicațiile plauzibile care s-ar putea potrivi cu datele şi să le excludă, una câte una. Dacă modelul cozonacului cu stafide era corect, devierea particulelor alfa ar fi fost doar mică, dar nu asta observaseră Geiger şi Marsden. Ei trebuiau să-şi dea seama în ce mod particulele alfa fuseseră întoarse asupra lor însele, ceea ce ar fi necesitat prezența unei forțe enorme în atomii de aur. Existau câteva variante de luat în considerare: experimentul ar fi putut fi greşit; particulele alfa ar fi putut fi cumva absorbite şi reemise de către atomi; sau, eventual, toată sarcina pozitivă a atomului ar fi putut fi condensată într-o zonă centrală din interiorul atomului.

Experimentul a fost efectuat în 1907–1908 şi publicat în 1909, dar Rutherford şi-a prezentat teoria privind ce însemna acest experiment pentru atom abia în 1911.

În acest timp, Rutherford a plecat şi a făcut calculele, făcându-şi timp să se înscrie la un curs de matematică pentru a fi sigur că le-a făcut corect. El a constatat în permanență că exista o singură explicație care se potrivea cu datele: atomii trebuie să fie compuşi în cea mai mare parte din spațiu gol cu un nucleu foarte mic şi dens.

Dacă Rutherford dorea să răstoarne modelul acceptat al atomului, trebuia să demonstreze dincolo de orice îndoială că noul model este corect. În următorii câțiva ani, ajutați de inventarea de către Geiger a unui contor pentru măsurare, Marsden şi Geiger au realizat o altă serie de experimente în care totul s-a legat.

Abia după aceea, Rutherford şi-a lansat noua teorie în public. Atomul nu era un cozonac presărat cu electroni negativi pe post de stafide: în centrul său se afla un mic nucleu cu sarcină pozitivă, suficient de dens încât să poată devia particulele alfa atunci când acestea se apropiau. Electronii făceau şi ei parte din atomi, dar orbitau în jurul nucleului la o distanță enormă. Dacă atomul era de mărimea unei catedrale, electronii fiind la nivelul pereților, nucleul era de mărimea unei muşte.

Iar între ele nu era nimic.

Experimentele lui Geiger şi Marsden au schimbat complet viziunea asupra atomilor şi, în continuare, asupra Universului. Departe de a fi entități solide, aşa cum s-a crezut milenii de-a rândul că sunt, atomii constau în mare parte din spațiu gol. Nu e greu de bănuit ce surpriză colosală a fost acest rezultat. După cum scria Arthur Eddington în 1928:

Când comparăm universul aşa cum se presupune că este acum cu universul aşa cum l-am conceput înainte, cea mai

surprinzătoare schimbare nu este rearanjarea spațiului şi a timpului de către Einstein, ci dizolvarea a tot ceea ce considerăm ca fiind mai solid în mici particule care plutesc în vid. Acest lucru le dă o palmă de trezire celor care cred că lucrurile sunt mai mult sau mai puțin ceea ce par a fi.

Dezvăluirea de către fizica modernă a vidului din interiorul atomului este mai tulburătoare decât dezvăluirea de către astronomie a imensului vid al spațiului interstelar.[1]

Ar putea părea doar un detaliu interesant să înțelegem cum arată interiorul unui atom. Însă această descoperire şi înțelegerea mecanismelor de dezintegrare radioactivă şi transmutație au ajuns să domine ştiința, tehnologia şi chiar politica decenii întregi. Faptul că atomii sunt formați dintr-un nucleu minuscul, dens şi încărcat pozitiv, înconjurat de electroni încărcați negativ, a dat naştere unui întreg domeniu al „fizicii nucleare".

Din experimente atât de simple a rezultat posibilitatea de a obține un volum imens de cunoştințe. Rutherford a fost atât de entuziasmat, încât, cu o ocazie, C.P. Snow, chimist şi unul dintre colaboratorii lui Rutherford la Cambridge, care mai târziu a devenit un scriitor renumit, îşi aminteşte că Rutherford a izbucnit şi a strigat la o reuniune a Asociației Britanice: „Trăim în epoca de aur a ştiinței!", în timp ce restul oamenilor din sală au amuțit de uimire.

Entuziasmul său era justificat: el văzuse potențialul care ar putea rezulta din înțelegerea nucleului atomic şi a felului în care funcționează radioactivitatea.

Astăzi, mulți oameni asociază cuvântul „nuclear" şi „radioactivitate" cu tehnologiile energiei nucleare şi armelor nucleare, care au apărut la zeci de ani după aceste descoperiri. Puterea dezlănțuită de explorarea nucleului atomic şi de natura invizibilă a radioactivității poate, uneori, să provoace teamă. Cu toate acestea, dacă radioactivitatea nu ar exista, dacă toate elementele ar fi stabile, dacă nucleul

nu ar avea această complexitate minunată, noi, împreună cu planeta noastră şi tot ce se află pe ea, pur şi simplu nu am fi aici. Radioactivitatea apare pentru că atomul are o structură, iar descoperirea acestei structuri ne-a condus la o înțelegere mai profundă şi fundamentală a naturii materiei, căutată de milenii.

Radioactivitatea este un proces natural. Ea întruchipează ideea că totul din viața noastră, chiar şi materia însăşi, se află într-o stare de schimbare, în continuă evoluție. În unele cazuri, această schimbare este extrem de lentă, astfel încât spunem despre unii atomi că ar fi „stabili”, ceea ce înseamnă că încă nu au fost văzuți dezintegrându-se, deoarece timpul lor de înjumătățire este mult mai lung decât vârsta Universului. Dar alți atomi sunt în mod clar instabili. Aceştia au perioade de înjumătățire de la câteva miliarde de ani până la câteva zile sau chiar câteva minute şi, din acest motiv, sunt mult mai interesanți – şi adesea utili – pentru noi.

Aceste elemente radioactive se găsesc în mod natural în roci, în aer, aproape peste tot. Granitul de pe blatul din bucătăria ta poate conține uraniu, toriu şi produsele lor de dezintegrare radioactivă. Unele elemente, cum ar fi potasiul (simbol chimic K), au izotopi atât stabili, cât şi instabili, şi diferă în ceea ce priveşte masa atomică, deoarece nucleele lor au un număr variabil de neutroni, care poate fi mai mare sau mai mic decât numărul de protoni. Izotopii aceluiaşi element pot avea proprietăți radioactive diferite. De exemplu, cea mai mare parte a potasiului este izotopul stabil K-39, dar 0,0012% este izotopul K-40, care are un neutron în plus şi emite în principal radiații beta (electroni) cu un timp de înjumătățire de 1,3 miliarde de ani. Acest lucru înseamnă că şi bananele sunt, teoretic, radioactive. Doza de radiații este, totuşi, minusculă şi ar trebui să

mâncați 5 milioane de banane odată pentru a simți efectele nocive ale acestora.

Propriul nostru corp conține şi el aceşti izotopi, în mod inevitabil. Cu toții suntem radioactivi.

În prezent, ne bazăm pe elementele radioactive naturale pentru multe tehnologii, de la detectoarele de fum (unde o sursă de americiu de particule alfa provoacă un mic curent, care este declanşat dacă fumul dispersează particulele alfa) până la sursele radioactive coborâte în găuri adânci şi folosite pentru a cartografia compoziția pietrei din jur. Această tehnică, cunoscută sub numele de „înregistrarea indicațiilor din gaura de sondă", stimulează emisia de raze gamma de la elementele din rocă şi permite utilizatorului să evalueze, cu un minimum de săpături, dacă există minerale prețioase, țiței, gaze sau alte bunuri valoroase îngropate adânc în pământ. Alte surse radioactive sunt utilizate de mulți ani în tratamentul cancerului şi pentru sterilizarea corespondenței, în special după ce, în 2001, au avut loc tentative de otrăvire cu antrax prin poştă, după care corespondența guvernului american a început să fie sterilizată cu ajutorul radiațiilor.[2]

Utilizarea radioactivității naturale în alte domenii ale societății este atât de prezentă în lumea noastră, încât este uşor de uitat că nu exista înainte de descoperirile lui Rutherford, Soddy, Brooks, Geiger şi Marsden. Nu trebuie să căutăm mai departe de muzeul situat la doar câțiva paşi de vechiul laborator al lui Rutherford, Muzeul Manchester, pentru a dovedi acest lucru. Acesta nu conține niciun echipament vechi de fizică, dar are o mulțime de fosile (inclusiv un schelet uriaş de Tyrannosaurus Rex numit Stan). Există o reproducere a unui enorm sistem de rădăcini de copac din perioada Carboniferului superior, cu un semn care indică faptul că are o vechime de 290–323 de milioane de ani. Există un plesiozaur care a fost găsit în North

Yorkshire de un grup de studenți, cu oasele sale fosilizate, vechi de 180 de milioane de ani, aşezate pe podea într-o vitrină uriaşă. Este uşor să presupunem că am avut la dispoziție dintotdeauna tehnici pentru a determina vârsta absolută a fosilelor, rocilor şi artefactelor antice, dar, după cum ne aminteşte interacțiunea lui Rutherford cu profesorul Adams, nu este aşa. Principalul motiv pentru care cunoaştem în mod obiectiv vârsta aproape oricărui obiect istoric neconsemnat în izvoare istorice îl reprezintă cunoştințele noastre despre radioactivitate.

După ce Rutherford a descoperit nucleul, a fost nevoie de timp pentru ca fizicienii să înțeleagă suficient de bine fizica nucleară pentru a şti de ce variază timpul de înjumătățire al diferiților atomi. Între timp, descoperirea în natură a multor atomi instabili, cu diferite perioade de înjumătățire, ne-a oferit o gamă largă de instrumente şi tehnici pentru a data nu doar fosilele, ci aproape orice lucru. Este imposibil să enumerăm toate lucrurile despre care ştim datorită tehnicilor de datare radiometrică, dar gândeşte-te doar la acestea.

Ştim că Giulgiul din Torino este un fals medieval[21] şi putem stabili o dată pentru manuscrisele de la Marea Moartă. Ştim că Homo sapiens a migrat din Africa nu o singură dată, ci în mai multe perioade[22] şi ştim cum s-a răspândit pe glob, deoarece putem data rămăşițele umane, cum ar fi cele vechi de 14 300 de ani găsite într-o peşteră din Oregon. [23] În arheologie, putem stabili o scară temporală pentru obiecte nu doar la nivel local, ci le putem compara pe diferite țări şi chiar continente, ceea ce ne permite să construim o poveste a preistoriei lumii. Putem data gheața cu o vechime de până la 1,5 milioane de ani[24] pentru a înțelege climatul străvechi din carote de gheață. De asemenea, datorită datării radiometrice, ştim când dinozaurii au cutreierat Pământul şi data asteroidului care

se pare că i-a exterminat pe toți acum 65 de milioane de ani.[25] Dacă ne întoarcem şi mai mult în timp, putem identifica primele dovezi ale unor fosile care ar putea fi animale, un fel de burete marin timpuriu găsit în roci vechi de 665 de milioane de ani din Formațiunea Trezona din Australia de Sud.[2]

Aceste cunoştințe constituie o parte foarte bogată a contextului cultural şi istoric al vieții şi al speciei noastre. Putem pune cap la cap toate aceste poveşti cu acurațețe nu doar pentru că putem compara straturile de rocă şi scheletele între ele, ci şi pentru că atomii se dezintegrează spontan în alți atomi: pentru că Rutherford, echipa sa şi alți oameni de ştiință după el au dezvoltat şi rafinat aceste metode. Străduania de a înțelege cele mai mici obiecte din natură ar fi putut să pară la acea vreme o parte obscură a fizicii, dar a ajuns să stea la baza unei mari părți din felul în care ne înțelegem cultura, arta, geologia şi locul nostru în istoria lumii.

Încă o dată, au fost experimente simple, efectuate de câțiva indivizi, care au condus la cunoştințe noi şi revoluționare: existența unui nucleu minuscul în inima materiei înseşi. Această descoperire a prezentat, de asemenea, o multitudine de întrebări la care era foarte important să încercăm să dăm un răspuns. Cum se menținea integritatea nucleului? Cum rămân electronii în atom?

Primele răspunsuri la aceste întrebări aveau să vină din primele zile ale mecanicii cuantice, născute din experimentele menite să studieze natura luminii şi interacțiunile acesteia cu materia. În timp, fizica avea să se dezvolte într-un domeniu din ce în ce mai complex, iar experimentele simple care îi erau atât de dragi lui Rutherford aveau să înceteze să mai dezvăluie secretele atomului. Nici măcar substanțele radioactive găsite în

natură nu se vor dovedi suficient de puternice sau flexibile şi vor deveni în cele din urmă un factor limitator, mai degrabă decât un instrument de descoperire. Progresul tehnologic şi teoretic vor începe să meargă mână în mână cu experimentul. Fizicienii vor începe să facă conexiuni surprinzătoare între aspecte aparent disparate ale naturii. Acum, povestea noastră ne duce la prima dintre aceste surprize, unde interacţiunile dintre lumină şi materie i-au determinat pe fizicieni să adopte o nouă viziune surprinzătoare asupra lumii noastre la nivelul ei fundamental.

Capitolul 3

Efectul fotoelectric: teoria cuantică a luminii

Ce este lumina? Controversele privind natura luminii au fost aprinse încă din secolul al XVII-lea. La început, se presupunea că lumina este ca o particulă[1], un obiect care se deplasează cu viteză, prin acel eter ipotetic, în linii drepte – o idee susţinută de Isaac Newton. În tabăra opusă se situa fizicianul olandez Christiaan Huygens, o figură importantă a revoluţiei ştiinţifice, care a descoperit Titan, satelitul natural al lui Saturn, iar apoi a stabilit matematica teoriei ondulatorii a luminii în „Tratat despre lumină" din 1690. Huygens a susţinut că lumina este o undă care vibrează prin eter (care mai târziu se va dovedi că nu există[2]). Deşi marele prestigiu al lui Newton a forţat teoria corpusculară să domine pentru o lungă perioadă de timp, experimentele au învins, ca întotdeauna, celebritatea ştiinţifică şi un model a ieşit învingător: teoria ondulatorie.

Principalul experiment care a tranşat dezbaterea în favoarea teoriei ondulatorii a fost realizat pentru prima dată de Thomas Young, în Anglia, în 1801. Versiunea modernă

este destul de uşor de recreat, iar majoritatea studenţilor de la fizică au încercat să o facă. Începe cu un pointer laser, îndreptat spre o placă metalică neagră, în care sunt tăiate două fante mici. Acest lucru dă numele experimentului: „experimentul fantei duble". În spatele fantei duble se află un ecran de vizualizare. Întrebarea: ce vom vedea pe ecran? Intuiţia noastră se îndreaptă către o experienţă analogă. Imaginează-ţi un gard la soare căruia îi lipsesc două uluci: gardul blochează lumina soarelui şi proiectează o umbră pe trotuar, dar în spaţiile în care lipsesc ulucile apar două pete luminoase. Cei mai mulţi oameni cred că lumina laser va produce două linii roşii strălucitoare pe ecran, fanta dublă fiind echivalentă cu cele două uluci lipsă, restul ecranului fiind în umbră. La asta ne aşteptăm, dar nu este ceea ce se întâmplă. În schimb, apare un set de franje de interferenţă: benzi de petice luminoase şi întunecate care se răspândesc pe toată lăţimea ecranului.[3]

Această interferenţă este o proprietate unică a undelor. De exemplu, putem realiza un model similar folosind undele de apă. Dacă mergi la un iaz liniştit cu două mingi gonflabile, ţii câte o minge în fiecare mână, la o distanţă de aproximativ un metru una de alta şi le mişti în sus şi în jos sincron pentru a crea două seturi de unde, poţi observa că apare un tipar. [4] Acolo unde vârfurile celor două unde se întâlnesc, acestea produc interferenţe „constructive"; în cazul opus, în care vârfurile şi nivelurile minime se suprapun, se produce o interferenţă „distructivă", iar undele se anulează reciproc. Rezultatul este un model frumos, în formă de evantai, care alternează între zone de valuri şi zone de linişte şi se îndepărtează de tine, peste iaz.

Efectele de interferenţă ale luminii apar şi în viaţa noastră de zi cu zi, dar în moduri mai subtile decât umbrele. Ele produc culorile spectaculoase de pe un balon de săpun, culoarea irizată a aripilor de fluture sau culorile curcubeului

pe care le vezi atunci când priveşti spatele unui CD sau DVD. Interferența pare puțin mai complexă în aceste situații, deoarece se foloseşte lumina albă (compusă din mai multe culori, spre deosebire de un pointer laser cu o singură culoare), iar tiparele de interferență depind de culoare, astfel încât aceste scenarii produc modele colorate în loc de pete luminoase şi întunecate.

Experimentul cu fantă dublă al lui Young arată această interferență în acțiune: în anumite poziții de pe ecran, lumina adăugată la lumină creează o lumină şi mai strălucitoare, iar în altele, lumina adăugată la lumină creează întuneric.

Măsurând distanța dintre petele luminoase de pe ecran şi cunoscând lungimea de undă a luminii de la pointerul laser, putem folosi teoria ondulatorie a luminii pentru a prezice ceea ce se va observa. Odată ce oamenii de ştiință din secolul al XIX-lea au adăugat aceste cunoştințe la dovezile că lumina se poate difracta şi refracta, precum şi că poate interfera, toate acestea fiind proprietăți ale undelor, şi nu ale particulelor, dezbaterea a fost tranşată: lumina este o undă.

De-a lungul secolului al XIX-lea, teoria ondulatorie clasică a luminii a devenit din ce în ce mai puternică, prezicând toate comportamentele cunoscute ale luminii observate în laborator. Pe baza acesteia, am putut construi şi înțelege microscoapele şi telescoapele, oglinzile şi lentilele. Am putut explica modul cum funcționează curcubeiele, de ce cerul este albastru şi multe alte fenomene. Teoria clasică a rezistat bine chiar şi după ce fizicianul scoțian James Clerk Maxwell a conectat-o cu teoriile sale despre electromagnetism, ceea ce ne-a oferit o definiție superioară a naturii undelor de lumină. Mai precis, putem spune că lumina este o undă electromagnetică ce se deplasează cu o viteză de aproape 300 de milioane de metri pe secundă, pe

care o notăm cu c. Unda are o componentă electrică şi o componentă magnetică, ambele oscilante şi care se schimbă între ele. În anul 1900, natura luminii nu mai era pusă la îndoială.

Apoi, o serie de experimente a început să pună serios la îndoială teoria ondulatorie. Acestea au arătat că lumina nu se comporta întotdeauna ca o undă – deoarece, uneori, lumina părea să se comporte ca o particulă.

Problemele au început să apară pentru teoria clasică atunci când oamenii de ştiinţă au început să se întrebe cum interacţionează teoria ondulatorie cu alte părţi ale fizicii. Întrebări care până atunci fuseseră ascunse sub preş au ieşit la iveală. De ce ar trebui ca lumina şi materia să fie tratate ca fiind diferite una de cealaltă? Ce face ca lumina să acţioneze într-un fel şi materia în alt fel? În timp ce fizicienii reflectau la aceste întrebări, a început să se configureze ideea radicală potrivit căreia nici lumina şi nici materia nu sunt ceea ce credeam noi că sunt. Acest lucru a marcat începutul unei revoluţii complete în fizică şi începutul teoriilor ciudate, dar minunate ale mecanicii cuantice.

Să facem un bilanţ al drumului parcurs de la descoperirea razelor X în laboratorul lui Röntgen în 1896. Electronii şi experimentul cu folia de aur le-au arătat fizicienilor că atomii nu sunt cele mai mici lucruri din natură, deoarece micii electroni care poartă sarcina electrică negativă se află în interiorul atomilor.

Atomii s-au dovedit a nu fi entităţile stabile şi veşnice care doreau chimiştii să fie: în schimb, fizica a dezvăluit că atomii se pot schimba, transmutându-se în elemente diferite prin emiterea de radiaţii, modificându-şi forma în mod repetat până când ajung la un punct de stabilitate. Atomii nu mai erau sfere solide de materie: în schimb, ei constau în cea mai mare parte din spaţiu gol. Toate aceste revelaţii au prefigurat următoarele descoperiri majore care au schimbat

fizica şi au făcut-o aproape de nerecunoscut. Avem chiar şi un nume diferit atunci când predăm fizica apărută după începutul secolului XX. O numim fizică modernă, spre deosebire de fizica clasică, ca şi cum tot ce a apărut înainte de teoriile acestei epoci a fost doar puţin cam prea obişnuit.

Bazele problemei au fost puse în 1887, când Heinrich Hertz şi-a depăşit descoperirea anterioară a undelor electromagnetice, descoperind din greşeală că lumina poate produce scântei. Mai exact, el a constatat că, dacă proiectezi lumină ultravioletă pe o suprafaţă metalică, electronii sunt ejectaţi. Această legătură dintre lumină şi electricitate se numeşte efectul fotoelectric şi a devenit un subiect de cercetare popular[5], mulţi fizicieni, printre care Wilhelm Haliwachs şi Philipp Lenard în Germania, Augusto Righi în Italia, J.J. Thomson în Anglia şi Aleksandr Stoletov în Rusia, încercând să înţeleagă cum funcţionează.

Conform teoriei ondulatorii, lumina transportă un anumit volum de energie proporţional cu amplitudinea sa la pătrat (dimensiunea undei sau strălucirea luminii). Fizicienii care studiau efectul fotoelectric bănuiau că electronii din metal erau legaţi în atomi, astfel că un electron ar trebui să primească puţină energie pentru a fi evacuat din atom. După ce a depăşit această barieră energetică iniţială, aplicarea unui volum tot mai mare de lumină ar trebui să transfere din ce în ce mai multă energie electronului, până când acesta va sări afară cu o energie corespunzătoare energiei absorbite din lumină (minus energia necesară pentru a scăpa din metal). De aici se puteau face trei predicţii. Prima, o lumină mai puternică ar trebui să ducă la electroni care călătoresc mai repede. Aceştia au gândit că, cu cât lumina care luminează metalul este mai puternică, cu atât mai multă energie va avea electronul şi, prin urmare, cu atât mai repede se va îndepărta de metal. Acest lucru părea rezonabil. Doi, dacă lumina este suficient de slabă, va

exista o mică întârziere, deoarece energia necesară pentru a scăpa se acumulează încet, după care electronul ar părăsi metalul cu o viteză redusă. În al treilea rând, deoarece electronii trebuiau să se agite de colo-colo şi să absoarbă energie pentru a scăpa, temperatura metalului ar trebui să aibă o influenţă asupra rezultatului.

În 1902, Philipp Lenard, un fizician de origine maghiară care lucra în Germania, a constatat că exista o problemă cu prima predicţie: nu a văzut nicio corelaţie între viteza electronilor ejectaţi şi intensitatea luminii. Lenard a emis chiar o ipoteză conform căreia întreaga idee era greşită – că energia luminoasă nu este deloc transformată în energie electronică în efectul fotoelectric şi că, în schimb, lumina era doar un declanşator care le spunea atomilor să elibereze electroni.[7]

Această ipoteză a „declanşatorului" părea puţin probabilă, dar nu exista nici o altă explicaţie convingătoare.

În cealaltă parte a lumii, un alt fizician experimentalist încerca să recupereze teren. Robert Millikan, profesor asociat la Universitatea din Chicago, era hotărât să îşi lase amprenta în domeniul fizicii, dar se confrunta cu lipsa de echipament şi cu faptul că nimeni altcineva din laboratorul său nu era interesat de ceea ce făcea el.

Millikan şi-a descoperit prima dată dragostea pentru fizică după ce profesorul său de greacă de la Colegiul Oberlin din Ohio i-a cerut să predea un curs despre această materie. În ciuda faptului că nu avea cunoştinţe prealabile în acest domeniu, într-o vară a învăţat singur fizică, rezolvând toate problemele pe care le găsea în manuale. A urmat un doctorat la Universitatea Columbia, apoi a studiat un an în Germania înainte de a ocupa un post la Universitatea din Chicago. Millikan era destul de bine cunoscut pentru programul său incredibil de riguros: lucra douăsprezece ore pe zi, şase ore de predare şi şase ore de cercetare.

A fost o întâmplare că anul petrecut în Germania a fost 1895–1896, când au fost făcute marile descoperiri ale razelor X şi ale radioactivității, deoarece acest lucru l-a ajutat să îşi formeze noi idei pentru cercetările sale. Dar la Chicago, în ciuda programului său intens şi a optimismului său nestăvilit, a resimțit o lipsă acută de progres în cercetare din cauza izolării sale. Millikan ştia că Lenard urma să aibă rezultate în Germania, înconjurat de alți experți, în timp ce el lucra aproape în întregime independent.

La fel ca toate laboratoarele de la acea vreme, al său arăta foarte diferit de cele moderne. La urma urmei, ne aflam la începutul anilor 1900: iluminatul electric era nou şi nu foarte eficient, aşa că laboratorul semăna mai degrabă cu o fabrică plictisitoare decât cu spațiile albe şi luminoase de astăzi. Cele mai multe case din zona Chicago erau încă iluminate cu lămpi cu gaz sau lumânări, deoarece urmau să aibă electricitate abia peste douăzeci de ani. Nu existau calculatoare, bineînțeles. Toate calculele se făceau cu ajutorul riglelor de calcul, creionului şi hârtiei şi nu exista nicio companie la care Millikan să poată apela pentru a-şi construi echipamentul ştiințific, ceea ce înseamnă că totul trebuia să fie construit intern. Din aceste motive, a fost nevoie de multă dăruire pentru a decide să se lanseze într-o problemă de cercetare experimentală la acea vreme, dar asta dorea Millikan să facă.

Nu avea nevoie decât de o problemă bună la care să înceapă munca. Pentru asta, trebuia să citească toate lucrările de cercetare recente, ceea ce era util pentru că era responsabil şi de organizarea seriei de seminare săptămânale pentru departamentul său. În încercarea de a înviora discuțiile într-o săptămână, a adus cu el şi a prezentat o lucrare de cercetare care l-a impresionat foarte mult, una pe care am întâlnit-o deja: lucrarea din 1897 a lui

J.J. Thomson despre descoperirea electronului. Millikan a fost atât de inspirat de lucrarea lui Thomson, încât a decis că acesta era noul şi palpitantul subiect la care va lucra. El dorea să studieze descărcările electrice în vid înalt, dar în laborator nu existau pompe de vid care să facă treaba.

Pe atunci, pompele de vid erau în mare parte pompe cu mercur: amestecuri complicate, dar delicate, de tuburi şi becuri de sticlă interconectate, toate realizate manual de suflători de sticlă. Mercurul lichid era împins prin ele şi, pe măsură ce trecea, elimina câteva molecule de aer. Dacă se repeta acest lucru de suficiente ori, în cele din urmă, se elimina suficient aer pentru a obține un vid bun. Dar Millikan a trebuit să o ia de la zero şi, pe parcursul a trei ani, a încercat şi a eşuat în mod repetat, până când, în cele din urmă, a conceput un aparat şi mai bun. La pompa standard cu mercur a adăugat un tub care conținea cărbune de lemn scufundat în aer lichid. Până în 1903, a reuşit să evacueze suficient aer pentru ca experimentul său să aibă o presiune de un miliard de ori mai mică decât cea din atmosferă[8] – un nivel de vid foarte respectabil chiar şi astăzi. Era pregătit să facă unele măsurători.

În timp ce Millikan se chinuia cu pompele de vid, a apărut o nouă carte a lui J.J.

Thomson, care prezenta predicția conform căreia emisiile fotoelectrice trebuiau să depindă în mare măsură de temperatură, aşa cum constataseră toți experimentatorii până la acea dată. [1] Conform punctului de vedere clasic, la o temperatură mai ridicată, electronii din metal ar trebui să aibă mai multă energie, astfel încât aceştia ar fi fost eliberați din metal mult mai uşor şi cu o viteză mai mare decât dintr-un metal aflat la o temperatură scăzută.

Dotat cu instalația de vid înalt, replicarea acestor rezultate i s-a părut lui Millikan un bun punct de plecare. El a îndreptat fasciculul de lumină asupra unui electrod

metalic, a cărui temperatură era controlată în aparatul de sticlă. Pentru a măsura viteza electronilor, la fel ca alți experimentatori dinaintea lui, el aplica o tensiune cu care trebuiau să se lupte electronii eliberați; electronii cu viteză mai mare aveau nevoie de o tensiune mai mare pentru a fi opriți. Dar când Millikan a încercat experimentul cu sistemul său de vacuum, a constatat că rezultatele erau complet independente de temperatură. Ce greşise?

Millikan a împărțit problema şi i-a pus pe unii dintre studenții săi absolvenți să se ocupe de ea. Aceştia au lucrat împreună într-o cameră mică, călcând peste tăvi cu acid sulfuric şi clorură de calciu, pe care le-au aşezat pentru a dezumidifica aerul şi a preveni acumularea de apă pe electrozi în experimentele lor. A fost nevoie de trei sau patru zile în care au suflat continuu aer curat peste sistem înainte de a putea face o măsurătoare fiabilă şi au trecut săptămâni întregi, timp în care s-au confruntat cu probleme legate de scurgeri de aer în sistemul de vid, fiind nevoiți să o ia de la zero. În ciuda dificultăților, Millikan a reuşit, în cele din urmă, să ducă un electrod din aluminiu de la 15 la 300 de grade Celsius şi să măsoare curentul electric emis. Din nou, nu s-a constatat nicio dependență de temperatură. Munca lor detaliată a continuat ani de zile, echipa construind o instalație complexă în vid, cu o roată mobilă la care au ataşat unsprezece discuri metalice diferite: cupru, nichel, fier, zinc, argint, magneziu, plumb, antimoniu, aur, aluminiu şi alamă. Roata a fost aşezată pe rulmenți de agat, în interiorul unui cilindru de sticlă cu diametrul de opt centimetri, cu o sursă de lumină îngustă – mai mică decât fiecare disc în parte – care strălucea în josul tubului. Au plasat o bandă de fier pe marginea roții, astfel încât, agitând cu atenție un magnet mare în apropierea tubului, fiecare disc de metal să se rotească în calea sursei de lumină fără a fi nevoie să deschidă sistemul la aer. [11] Au descoperit că

toate rezultatele erau independente de temperatură, cel puțin până la 100 de grade Celsius, care era cea mai mare temperatură la care au îndrăznit să ajungă cu versiunea cu unsprezece discuri a echipamentului. Millikan a scris mai târziu că, până atunci, „părea să aibă foarte puțin succes ca fizician experimental!”[12]

Dar rezultatele lui Millikan au fost, de fapt, un succes. Pentru că erau diferite de cele obținute de cei dinaintea lui, el dezvoltase acea stare ştiințifică evazivă şi prețioasă: o lacună în cunoaştere. Trebuie să fi avut o bănuială că lipsa sa de rezultate pozitive ar putea indica ceva mai mult decât o simplă greşeală experimentală. La urma urmei, îşi petrecuse ani de zile asigurându-se că experimentele funcționau în mod fiabil. Aşadar, care să fi fost explicația alternativă? Dacă rezultatele sale erau corecte şi dacă efectul fotoelectric chiar nu depindea de temperatură, atunci fizica clasică ar fi fost, pur şi simplu, incapabilă să explice efectul fotoelectric.

În Berna, în 1905, Albert Einstein urma să descopere efectul fotoelectric şi să facă un salt teoretic uriaş care va ajuta la ghidarea experimentelor lui Millikan.

Einstein a studiat fizica la Zürich, unde seara îşi continua lucrul cu logodnica sa, Mileva Marić, o fiziciană de origine sârbă şi singura femeie care participa la cursul său. [13] După examenul final, Einstein nu a reuşit să găsească un post de asistent în domeniul fizicii, aşa că a plecat temporar pentru a ocupa un post de profesor prost plătit în Winterthur, la douăzeci de kilometri spre nord. Într-o zi, în 1901, i-a scris Milevei spunându-i că era „plin de atâta fericire şi bucurie”. [14]

Ea s-ar fi aşteptat să fie fericit deoarece tocmai îi scrisese spunându-i că urma să devină tată. Dar motivul pentru care se arătase atât de entuziasmat era faptul că tocmai dăduse peste rezultatele experimentale ale lui Lenard privind efectul

fotoelectric, care arătau că electronii puteau fi produşi de lumina ultravioletă.

Einstein considera ciudat faptul că majoritatea domeniilor fizicii aveau la bază particulele: atomii, electronii şi vibraţiile moleculelor individuale care produceau căldură se bazau toate pe mişcarea unor obiecte individuale şi discrete. Chiar şi undele de apă erau formate din obiecte mici – molecule de apă – în mişcare colectivă, în timp ce undele sonore erau unde de presiune în moleculele de gaz.

Cu toate acestea, undele luminoase erau considerate un fenomen continuu. De ce?

Einstein era la curent cu lucrările recente ale colegului său mai în vârstă, fizicianul german Max Planck, un adept al fizicii teoretice profunde şi fundamentale. În tinereţe, Planck alesese fizica în detrimentul muzicii, în ciuda faptului că profesorul său de fizică îi spusese că „aproape totul a fost deja descoperit şi tot ce rămâne de făcut este să umplem câteva găuri”. Planck avusese recent o idee nouă şi fascinantă, o încercare de a reuni diferite domenii ale fizicii, combinând vibraţiile mecanice (căldura) şi electromagnetismul (lumina). Planck începuse prin a înţelege că există cu siguranţă o anumită relaţie între căldură şi lumină: la temperaturi diferite, obiectele emit lumină de diferite culori, astfel încât cărbunii încinşi strălucesc în roşu, în timp ce lumina Soarelui este mai degrabă galbenă sau albă.

Când spun lumină, nu mă refer doar la spectrul vizibil. Lumina sau, mai corect spus, radiaţia electromagnetică, acoperă o gamă de frecvenţe de la razele X şi gamma până la infraroşii şi undele radio. Dar, pentru discuţia de faţă, mă voi referi la aceasta doar ca lumină. Aşadar, de ce strălucesc obiectele în culori diferite? Ce împiedică nişte cărbuni încinşi să strălucească în violet sau planeta Jupiter să

strălucească în domeniul razelor X? [15] Nici în acest caz, fizica clasică nu putea oferi un răspuns.

Fizicienii de dinainte încercaseră să determine lumina care ar fi emisă de un fel de obiect cald simplificat numit corp negru, o entitate imaginară introdusă în 1859 pentru a ajuta la înțelegerea felului în care radiază căldura. Un corp negru este ceea ce s-ar forma dacă ai lua o cutie – sau o cavitate – şi ai ține-o la o temperatură constantă. În timp, acesta va produce un tip unic de lumină numit radiație de corp negru. [1] Principalul lucru despre radiația de corp negru este că nu contează dacă respectivul corp este mic ca un bob de mazăre sau mare ca o planetă – atâta timp cât absoarbe şi emite radiație perfect, spectrul de lumină pe care îl produce, respectiv cantitatea de lumină de fiecare culoare emisă de un corp negru, este întotdeauna aceeaşi. Asta îl face unic. Experimentele care au încercat să aproximeze radiatoarele de tip corp negru au arătat că, la început, volumul de lumină emisă creşte întotdeauna cu frecvența, atinge un vârf la o anumită culoare şi apoi scade din nou la frecvențe înalte. Vârful depinde numai de temperatura obiectului. Asta se poate vedea la o fierărie, unde metalele strălucesc mai întâi în roşu, apoi în portocaliu, apoi chiar şi în alb, pe măsură ce se încing, vârful spectrului trecând de la roşu la albastru.

Utilizarea fizicii clasice pentru a calcula lumina emisă de un corp negru a dus la o ecuație care nu corespundea deloc experimentelor. Aceste calcule anterioare, efectuate de fizicianul britanic Lord Rayleigh, au prezis că volumul de lumină emis la capătul inferior (mai roşu) al spectrului va fi mic, dar, apoi, trecând prin galben, verde, albastru, violet şi ultraviolet, volumul va creşte treptat, atingând, în cele din urmă, un vârf cu raze X de înaltă energie şi chiar raze gamma de frecvență şi mai mare. Pentru fiecare dublare a frecvenței, volumul de lumină emisă ar trebui să crească de

patru ori. Dar, în mod clar, acest lucru nu era corect: atunci când privim lumea, aceasta nu este în întregime albastră şi mov[17] şi nici nu ne prăjeşte cu raze X de înaltă energie. Predicția era imposibilă şi deoarece, dacă adunăm volumul de putere luminoasă radiată pe toate frecvențele, totalul ar fi infinit. Dacă acest lucru ar fi fost adevărat, atunci toată materia, chiar şi cea mai rece materie, ar radia atât de intens, încât toată energia ar dispărea într-un val de lumină de înaltă frecvență. Această stare de fapt era atât de problematică pentru fizica teoretică, încât a devenit cunoscută sub numele de „catastrofa ultravioletă".

Planck nu a putut accepta această situație. Reluând problema, în jurul anului 1900[18], şi-a dat seama că, în aceste calcule anterioare ale spectrului de radiație emisă, se făcuseră unele presupuneri cu privire la felul în care se comporta energia în interiorul corpului negru. Se presupusese că energia putea fi împărțită între atomii (sau „rezonatorii") din cutie în orice mod, astfel încât existau infinit de multe moduri în care energia putea fi distribuită. [1] Dar acest lucru însemna că, atunci când se însumează puterea emisă totală, toate aceste stări posibile au contribuit şi au trebuit să fie adunate, motiv pentru care puterea a ieşit ca fiind infinită. Planck şi-a dat seama că putea folosi un truc matematic pentru a scăpa de problemă, dar nu i-a plăcut.

Dacă energia ar putea fi absorbită sau emisă doar în bucățele, adică dacă energia ar avea o dimensiune foarte mică, atunci numărul de feluri în care ar putea fi împărțită nu ar mai fi infinit. [2] Situația este asemănătoare numărului limitat de feluri în care poți împărți un grup de zece persoane – eu pot avea cinci persoane în grupul meu şi tu poți avea tot cinci, sau eu aş putea avea zece şi tu zero, sau poate patru şi şase, dar nu ar avea sens să vorbim despre a

avea 2,32 şi 7,68 persoane în grupuri. Asta deoarece oamenii sunt obiecte discrete, şi nu continue.

Planck a tratat problema ca şi cum energia ar veni în pachete discrete, ceea ce l-a ajutat să evite problema din punct de vedere matematic. Pentru a pune în practică un astfel de truc, Planck a introdus cel mai mic pachet de energie care putea fi transportat, pe care l-a numit cuantă de energie. Mai mult, pentru ca soluția sa matematică să funcționeze, el a trebuit să definească faptul că energia poate veni doar în multipli întregi ai acestui volum de bază. Mărimea acestui volum de energie era foarte mică şi era legată de frecvența luminii printr-o nouă constantă fizică inventată de Planck, h, despre care a spus că are o valoare de aproximativ 6 × 10-34 Js. [21] Nu a văzut nici o altă variantă care să producă rezultatul corect, dar, întrucât „trebuia să se ofere cu orice preț o explicație teoretică”[22], a comis ceea ce a numit un „gest de disperare” pentru a rezolva problema.

Planck nu credea cu adevărat că energia vine în pachețele, dar a constatat că trucul său matematic a funcționat. Această metodă a produs o ecuație în care volumul de lumină emis de un corp negru mai întâi creştea, apoi atingea un vârf la o anumită culoare şi apoi scădea din nou la frecvențe mai mari. Cel mai important, ecuația sa corespundea datelor experimentale. Dar, cu toate că metoda a funcționat, rezultatele sale nu au provocat o revoluție în rândul fizicienilor.

Noua lege a radiației a fost acceptată rapid, deşi faptul că a trebuit să invoce ideea foarte ciudată de cuantificare a energiei pentru a o obține a fost ignorat în cea mai mare parte. [23]

Însă Einstein a luat în serios ideea lui Planck. El a hotărât să creadă că energia chiar vine în pachete mici şi a făcut un pas mai departe. El a propus ca lumina însăşi să

fie formată nu din unde, ci din aceste mici pachete de energie: cuante.

Împingând ideea mult dincolo de ceea ce intenționase Planck, Einstein a spus că lumina însăşi este discretă; lumina este formată din ceea ce noi am numi acum fotoni. Apoi, a elaborat o teorie care ar putea explica misteriosul efect fotoelectric.

Teoria sa spunea că un foton ar ceda toată energia sa unui singur electron din metal. Energia fotonului era doar frecvența (culoarea) sa înmulțită cu constanta pe care Planck o inventase anterior, h. El a prezis că, dacă cineva ar face un experiment în care ar schimba frecvența luminii şi ar măsura energia fotoelectronilor, rezultatele s-ar situa de-a lungul unei linii drepte, a cărei pantă ar da h. O lumină mai strălucitoare ar trebui să producă mai mulți electroni, dar energia acestora ar depinde doar de frecvența luminii. Teoria a făcut şi o a doua predicție, conform căreia, sub o anumită frecvență limită, nu ar mai conta cât de strălucitoare este lumina: niciun electron nu ar mai fi fost eliberat, deoarece energia fotonilor nu ar fi suficient de mare pentru ca electronii să scape din metal. Uitați de temperatură, spunea el: concentrați-vă pe frecvență.

Când şi-a publicat lucrarea în 1905, nimeni nu făcuse încă o investigație detaliată a relației dintre energie şi frecvență care să demonstreze dacă teoria lui Einstein era corectă. Dar, la Chicago, exista un experimentalist dezamăgit care avea experiența, ambiția – şi acum şi echipamentul – pentru a încerca.

Robert Millikan nu a crezut în teoria lui Einstein, ceea ce nu este chiar surprinzător, având în vedere că teoria nu a fost foarte bine primită în general.

Nici măcar Max Planck nu a luat-o foarte în serios, deşi fusese inițiatorul ideii cuantice şi redactorul revistei care a acceptat lucrarea lui Einstein pentru publicare. Planck a

considerat în mod clar că ideea lui Einstein era puțin cam trasă de păr şi avea să comenteze mai târziu într-o scrisoare de recomandare:

„Uneori, ca de exemplu în ipoteza sa privind cuantele de lumină, este posibil să fi exagerat în speculațiile sale, dar acest lucru nu ar trebui să i se reproşeze prea mult". [24] Pentru Millikan, însă, nu era doar o idee amuzantă. El chiar credea că teoria lui Einstein trebuia să fie greşită, deoarece era atât de evident că lumina este o undă, şi nu o particulă. El credea că ipoteza conform căreia lumina era formată din cuante era o ipoteză „îndrăzneață, ca să nu spunem... nesăbuită".

Aceasta contrazicea dovezile clare, cum ar fi cele ale experimentului cu fantă dublă despre care am discutat mai devreme, care arată că lumina este un fenomen ondulatoriu. Cum ar putea fi ea alcătuită din particule?

Acum, Einstein făcuse o predicție clară cu care să poată fi comparate rezultatele experimentale, iar Millikan a văzut şansa de a-şi face un nume ca fizician. Întors în laborator şi revigorat, în 1907, Millikan şi-a propus să infirme teoria lui Einstein.

Până acum, el şi echipa sa deveniseră meticuloşi, eliminând orice sursă posibilă de erori din echipament. Foloseau în continuare aceeaşi instalație de bază: o sursă de lumină, o suprafață metalică şi ceva pentru a număra electronii, dar totul devenea din ce în ce mai complicat. A trecut de la utilizarea surselor de lumină cu scântei – în care electrozi de înaltă tensiune provoacă scântei printr-un gaz pentru a produce lumină inclusiv în spectrul ultraviolet – la altele mai stabile, deoarece scânteile creau oscilații electrice şi introduceau erori. A constatat şi că, pentru a obține rezultate fiabile, suprafața metalului trebuie să fie foarte curată, altfel s-ar putea să măsoare efectul fotoelectric al unei acumulări de oxid metalic pe suprafață în loc să

măsoare efectul metalului pur. În cele din urmă, în 1909[25], echipa lui Millikan a inventat un sistem care includea un cuțit ascuțit care se rotea în interiorul sistemului de vid şi curăța prin răzuire suprafața metalului înainte ca acesta să fie expus la lumină. De fiecare dată când luminau suprafața metalului, ei măsurau energia electronilor care erau emişi prin aplicarea unui câmp electric suficient pentru a-i opri.

De la începutul acestei întreprinderi şi până la momentul în care Millikan şi-a publicat rezultatele finale au trecut doisprezece ani. În acest interval de timp, ar fi existat un şir de studenți cercetători care au venit, au lucrat şi au absolvit în laboratorul său. El a făcut două campanii experimentale majore în 1909 şi 1912, iar rezultatele le-a publicat abia în 1916. Primele experimente ale lui Millikan, din 1903, confirmaseră deja că efectul fotoelectric nu depindea deloc de temperatură. După ce Einstein şi-a făcut predicțiile, Millikan a revenit la problemă, gândindu-se că va putea demonstra că nu este nevoie de idei absurde precum cuantele de lumină şi că o simplă modificare a teoriei clasice a undelor ar fi suficientă pentru a explica datele experimentale. Persistența de care a dat dovadă în încercarea sa de a demonstra că Einstein se înşela pare probabil la limita obsesiei, iar noi ne-am putea întreba ce i-a luat atât de mult timp pentru a ajunge acolo. Motivul este unul adorabil de uman: rezultatele lui Millikan l-au frustrat şi l-au chinuit pentru că încerca să infirme teoria lui Einstein, însă experimentele sale au arătat că nu făcea nimic de genul acesta.

De fapt, Millikan a constatat că aproape fiecare predicție a lui Einstein s-a dovedit a fi susținută. Energia electronilor emişi era direct proporțională cu frecvența luminii primite, exact aşa cum spunea Einstein. El a arătat că, sub o anumită frecvență limită, nu se măsurau deloc electroni, aşa cum s-ar fi întâmplat dacă lumina ar fi fost formată din

cuante. El a măsurat chiar şi constanta lui Planck, h, cu o precizie de 0,5%, de departe cea mai bună măsurătoare de până atunci. Millikan găsise cea mai bună dovadă de până atunci că teoria pe care îşi propusese să o infirme era, de fapt, corectă.

La sfârşitul lucrării sale din 1916, Millikan a precizat că, deşi accepta rezultatele experimentale, nu putea să creadă implicaţiile celor descoperite. Ar fi uşor de crezut că, chiar dacă Millikan se lupta cu această nouă teorie, rezultatele sale i-ar fi determinat pe toţi ceilalţi fizicieni să accepte dintr-odată punctul de vedere al lui Einstein, conform căruia lumina era formată din cuante, dar nu a fost aşa.

Millikan a confirmat că predicţiile făcute de teoria lui Einstein erau corecte, dar nimeni nu văzuse cu adevărat o particulă de lumină, astfel încât majoritatea oamenilor de ştiinţă au fost perfect mulţumiţi să ignore, pur şi simplu, conceptul că lumina este alcătuită din particule şi să trateze efectul fotoelectric ca fiind nerezolvat.

Ei evitau astfel un concept aparent urât şi contraintuitiv: dacă se iau în considerare atât rezultatele lui Millikan, care arată că lumina acţionează ca un flux de particule, cât şi dovezile de secole potrivit cărora lumina acţionează ca o undă, concluzia trebuia să fie că lumina are atât o natură de particulă, cât şi una de undă.

Cum spunea în glumă la vremea aceea William Henry Bragg, un fizician britanic-australian, teoreticienii cuantici „descriu lumina ca undă în zilele de luni, marţi şi miercuri şi ca particulă în zilele de joi, vineri şi sâmbătă". Dar, indiferent cum o descriem, trebuie doar să acceptăm realitatea aşa cum o găsim.

Uneori este posibil să avem o imagine mentală intuitivă atât de puternică a naturii, încât ne face să rămânem blocaţi într-o mentalitate conform căreia ceva trebuie să fie ori A (o undă), ori B (o particulă). Dar, în acest caz, în anumite

situații putem folosi A, teoria ondulatorie, iar în alte situații putem folosi B, teoria corpusculară (a particulelor). Niciuna dintre ele nu este greşită, iar care dintre ele este aplicabilă depinde de felul în care alegem să ne facem experimentele.

Un aspect care trebuie clarificat este cum funcționează experimentul dublei fante al lui Young, dată fiind natura corpusculară a luminii. Dacă efectuăm experimentul fantei duble al lui Young doar cu câte un foton pe rând, ce se întâmplă? Chiar şi în această situație, fiecare foton individual va acționa ca o undă şi, dacă aştepți până când un număr suficient de fotoni individuali formează un tipar pe ecran, vei vedea acelaşi tipar de interferență ca în cazul unui pointer laser mai puternic. Fiecare foton individual pare cumva să treacă prin ambele fante. Este în regulă dacă te gândeşti la lumină ca la o undă, dar este derutant dacă te gândeşti la ea ca la o particulă.

Detaliile filosofice ale mecanicii cuantice ar fi o cu totul altă carte, dar ceea ce contează este felul în care se comportă cu adevărat natura, adică ce încearcă să descopere experimentatorii. Acesta este motivul pentru care ştiința este, în cele din urmă, o materie experimentală, deoarece, indiferent cât de bun este un model teoretic, indiferent de „faptele” pe care credem că le cunoaştem, în cele din urmă, încercăm constant să descriem ceva ce se întâmplă în natură, ceea ce poate fi sondat doar prin experimente. Chiar dacă descrierea luminii ca particulă de către Einstein a fost o teorie fascinantă, Robert Millikan a fost cel care a adunat cu minuțiozitate dovezile că natura se comportă într-adevăr aşa, însă puțini au auzit vreodată de el.

Explicarea efectului fotoelectric a fost atât de importantă, încât Einstein a primit premiul Nobel în 1921 pentru munca sa în acest domeniu, şi nu pentru teoriile sale mai bine cunoscute despre relativitate. Doi ani mai târziu, în 1923,

Robert Millikan[2] a primit şi el premiul Nobel. În momentul discursului său de acceptare a premiului, acesta a schimbat puțin povestea, susținând că își propusese de la bun început să verifice teoria lui Einstein şi să măsoare constanta lui Planck. De fapt, atât lui, cât şi restului comunității de fizicieni le-a luat atât de mult timp doar pentru că nu voiau să accepte ce arătau cu adevărat rezultatele experimentale.

Astăzi, mecanica cuantică este cea mai bună descriere pe care o avem a realității la cea mai mică scară şi este departe de a fi doar o filosofie obscură. Teoria finală care a apărut şi care descrie pe deplin natura dual ă de particulă şi de undă a luminii se numeşte acum electrodinamică cuantică (cu acronimul QED, de la Quantum Electrodynamics) şi a avut nevoie de încă patruzeci de ani după experimentele lui Millikan pentru a se cristaliza cu adevărat. QED încorporează atât mecanica cuantică, cât şi relativitatea specială a lui Einstein şi vom reveni la ea mai în detaliu ulterior. Deocamdată, ceea ce este important la teoria QED este că o putem folosi pentru a calcula cantitățile din natură cu o precizie mai bună de o parte la un miliard. Oamenii de ştiință din multe domenii şi industrii de înaltă tehnologie folosesc acum zilnic mecanica cuantică într-o formă sau alta, iar noi toți folosim rezultatele acesteia în viața noastră de zi cu zi, fără să ne dăm seama de acest lucru. Faptul că nu avem un răspuns la motivul pentru care natura acționează aşa (şi chiar nu putem răspunde de ce) nu înseamnă că nu putem să învățăm şi să ne folosim de felul în care funcționează.

Ideea pe care o studia Millikan – pe care o înțelegem acum în termeni de lumină care transmite energie electronilor atât în vid, cât şi în materiale – nu este doar ceva care s-a întâmplat deodată, într-un experiment de laborator, şi care

a dispărut în obscuritate odată ce a fost înțeleasă. Dimpotrivă.

Millikan ar fi lucrat la biroul său cu hârtie şi creion, iar în zilele călduroase ar fi deschis fereastra pentru a face să circule aerul. Astăzi lucrăm cu laptopuri şi putem folosi, pur şi simplu, o telecomandă pentru a porni aparatul de aer condiționat. În interiorul acelei telecomenzi se află un LED (o diodă emițătoare de lumină) care trimite un semnal binar într-o lumină invizibilă (infraroşu).

Atunci când apăsăm butonul, fotonii de la telecomandă se deplasează şi ating o fotodiodă de detectare plasată în aparatul de aer condiționat şi – la fel ca în experimentele lui Millikan – aceşti fotoni eliberează electroni, oferindu-le energie cinetică. Fotodioda este fabricată dintr-un material numit semiconductor, care poate fi utilizat în două straturi. Acest lucru formează o joncțiune care permite electricității să circule mai uşor într-o direcție decât în cealaltă, astfel încât fotodiodele lasă electricitatea să circule atunci când lumina străluceşte asupra lor. [27] Aparatul de aer condiționat răspunde la semnalul electric pe care îl primeşte, interpretând tiparul binar şi urmând comanda noastră. Acest tipar binar este diferit la televizor şi la aparatul de aer condiționat, motiv pentru care reuşesc să nu se confunde unul cu celălalt. Pentru cineva din vremea lui Millikan, toate acestea ar fi părut magie pură.

Proprietățile materialelor semiconductoare, combinate cu fizica efectului fotoelectric, au permis dezvoltarea unei game vaste de componente electrice începând cu anii 1940, care acum sunt produse în cantități enorme în întreaga lume. Celulele solare (sau fotovoltaice) sunt un tip de fotodiodă care converteşte fotonii de la Soare în curent electric suficient de eficient pentru a alimenta casele şi întreprinderile. Ele au permis o serie de realizări umane fenomenale, cum ar fi comunicațiile prin satelit şi explorarea

spațiului, dar nu sunt singura aplicație. O mare parte din adaptarea aparent fără efort a tehnologiei din jurul nostru este opera acestor mici fotodiode.

Toți acei senzori care aprind luminile atunci când intri într-o cameră, care eliberează săpun şi dezinfectant pentru mâini, care îți deschid uşile: toți utilizează senzori de proximitate, care reflectă lumina infraroşie de pe un obiect (tu) şi o trimit înapoi la fotodiodă. Cu cât un obiect este mai aproape, cu atât mai multă lumină va fi reflectată, ceea ce creează un curent electric. Este aceeaşi tehnologie care este utilizată în majoritatea sistemelor de securitate.

Motivul pentru care dispozitivele de bază care se folosesc de fotoelectricitate sunt atât de utile este că emit un curent proporțional cu volumul de lumină care cade pe ele – atâta timp cât frecvența este suficientă pentru a produce electroni, mai multă lumină produce mai mulți electroni şi, prin urmare, un curent mai mare. Acest lucru înseamnă că ieşirea este liniară şi funcționează bine cu toate celelalte componente electrice şi electronice ale noastre. De exemplu, ceasurile sport cu GPS folosesc acum fotodiode în dispozitivele de măsurare a ritmului cardiac bazate pe lumină pentru a citi continuu pulsul purtătorului prin încheietura mâinii. O lumină verde luminează pielea şi, la fiecare ciclu cardiac, volumul de lumină reflectată de sângele care curge în țesutul subcutanat se modifică, fotodioda captează modificările acestei lumini, iar un algoritm îți calculează şi afişează pulsul. [28] Telefonul tău inteligent sesizează dacă este lumină sau întuneric afară şi reglează automat luminozitatea ecranului în funcție de volumul de lumină care cade pe el. Aceeaşi tehnologie este utilizată pentru a schimba automat tablourile de bord ale maşinilor de la modul pentru zi la cel pentru noapte şi controlează diafragma şi viteza obturatorului pe o cameră digitală modernă.

Aplicațiile indirecte ale fotodiodelor sunt probabil şi mai numeroase. Toate măsurătorile bazate pe laser le folosesc, ceea ce înseamnă că aproape fiecare drum şi clădire din jurul tău a avut nevoie de ele în procesul de topografie şi aliniere. Fotodiodele sunt utilizate şi pentru a capta semnale bazate pe lumină în rețelele de comunicații care utilizează fibre optice; dacă ai internet prin fibră optică cu bandă largă, această rețea utilizează fotodiode pentru a converti semnalele din lumină înapoi în impulsuri electrice, transmițându-ți astfel informații din întreaga lume. Vitezometrele şi odometrele noastre le folosesc, iar sistemele de feedback care asigură buna funcționare a motoarelor vehiculelor electrice le folosesc şi ele. Fotodiodele sunt folosite pentru a controla pozițiile, vitezele şi operațiunile multor procese automatizate din fabrici, aşa că fotodiodele au fost folosite în fabricarea majorității lucrurilor pe care le deții, cu excepția celor complet artizanale.

Toate aceste lucruri sunt dovezi ale înțelegerii noastre privind efectul fotoelectric şi nu ar fi fost posibile fără cunoştințele noastre fundamentale de fizică apărute în urma acestor prime experimente fundamentale. Cercetările lui Millikan – împreună cu cele legate de experimentul fantei duble şi datele privind radiația corpului negru – au oferit fizicienilor un punct de sprijin ferm pe care să îşi construiască noua viziune a realității bazată pe mecanica cuantică. Când mecanica cuantică s-a impus, aplicațiile sale s-au extins rapid dincolo de explicarea luminii. Mecanica cuantică este teoria care descrie şi întreaga materie.

După contribuțiile lui Einstein şi Planck, mulți alți fizicieni s-au alăturat dezvoltării mecanicii cuantice. Cu fiecare nouă problemă apărută în fizică, mecanica cuantică evolua şi îşi dădea seama cum să o rezolve. Când a fost vorba de natura materiei, acest lucru a fost esențial. Modelul atomic al lui Rutherford – modelul nucleului mic şi

al electronului orbital din capitolul 2 – a părut de nesusținut atunci când fizicienii şi-au dat seama că ar trebui să fie instabil: electronii ar trebui să emită radiații, prăbuşindu-se în jurul nucleului într-o spirală a morții emițătoare de lumină. Dar Niels Bohr, un tânăr fizician teoretician danez, a rezolvat această problemă folosind ideea de cuantificare pentru a explica felul în care electronii sunt dispuşi în jurul nucleului. Electronii pot avea doar anumite valori de energie – şi energia lor este cuantificată –, ceea ce înseamnă că aceştia orbitează la distanțe față de nucleu în funcție de valorile lor energetice. [2] Electronii se pot deplasa în sus sau în jos între nivelurile de energie, fie prin absorbția, fie prin emiterea de radiații sub formă de lumină (fotoni), dar nu pot sta între aceste niveluri. Există, de asemenea, o valoare minimă a energiei pe care un electron o poate avea, adică distanța minimă la care se poate apropia un electron de nucleu.

Abia în 1923, un aristocrat francez, fiul cel mic al ducelui de Broglie, a reluat problema de unde rămăsese Einstein, întrebându-se de ce fizica tratează diferit lumina şi materia. În teza sa de doctorat, Louis de Broglie a observat că fizica cuantică părea să fie de acord cu afirmația conform căreia lumina se poate comporta ca particulele, dar în acest caz, era oare adevărat contrariul? Ar putea particulele materiale să acționeze ca undele? Răspunsul, se pare, este da. Orice particulă sau cantitate de materie, fie că are masă, ca un proton, sau nu are masă, ca un foton, are şi o natură ondulatorie, iar relația dintre energie şi frecvența undei este E=hf, unde h este (din nou) constanta lui Planck. Teoria care a apărut, mecanica cuantică ondulatorie, ar putea descrie tot felul de comportamente noi ale atomilor şi particulelor. Ea ne-a spus chiar că particulele subatomice nu sunt entități solide, ci doar au o anumită probabilitate de

a se afla într-o anumită stare sau într-un anumit loc la un moment dat.

Ideea că materia este alcătuită din unde este greu de crezut. Când te întinzi pe spate, nu cazi prin podea; dacă cineva te loveşte, te doare; dacă încerci să treci accidental printr-o uşă de sticlă transparentă, descoperi jenat că nu poți. Toate acestea te-ar face să crezi că trupul tău este un obiect solid şi că materia din care este făcut este o suprafață continuă, neîntreruptă. Cu toate acestea, eşti făcut aproape în întregime din nimic. Chiar şi în cazul perspectivei anterioare, conform căreia materia este formată din particule solide – în care nucleul şi electronii au o anumită dimensiune definită –, volumul de materie efectivă din fiecare atom este atât de mic, încât, dacă ai lua toată materia de la fiecare om de pe Pământ şi ai pune-o laolaltă, ar fi de mărimea unui cub de zahăr. Acum putem vedea că nu este nici măcar atât de simplu, deoarece „materia" nu este perfect solidă. Odată cu apariția mecanicii cuantice, totul s-a schimbat.

Aceste noi idei au provocat o agitație nu doar în fizică, ci şi în întreaga societate.

Efectele lor asupra imaginației publice au fost resimțite puternic de artistul Wassily Kandinsky, care a scris:

Decăderea ideii de atom a fost pentru sufletul meu aidoma decăderii întregii lumi. Dintr-odată, cei mai grei pereți s-au năruit. Totul a devenit nesigur, şubred şi slab. Nu m-aş fi mirat dacă o piatră s-ar fi dizolvat în aer în fața mea şi ar fi devenit invizibilă. Ştiința părea să fie distrusă.[3]

Materia nu este sigură sau deterministă, ci este asociată cu probabilități şi unde.

Caracterul solid al materiei se dovedeşte a fi doar o consecință a interacțiunilor dintre entitățile ondulatorii. Undele de electroni care se împing împotriva altor unde de electroni te mențin plutind foarte puțin deasupra suprafeței

pe care şezi sau pe care stai în acest moment. Din câte ştim, tot ceea ce se întâmplă în lume, precum şi în corpul şi mintea ta, rezultă din aceste interacțiuni la scară mică.

Acest aspect creează o perspectivă cu totul nouă asupra semenilor tăi.

Dacă realitatea ta este puțin bulversată acum, nu eşti singurul. Trăieşti ceea ce Millikan, Kandinsky, Planck, Rutherford, Bohr şi chiar Einstein au avut dificultăți să accepte. Nu suntem conştienți de natura de undă şi de particulă a materiei, pentru că nu suntem capabili să interacționăm cu materia într-un mod care să ne permită să o observăm în sensul cotidian. Suntem dimensionați astfel încât să interacționăm cu natura la scară umană, nu la scară cuantică. Nu observăm calitățile ondulatorii ale obiectelor de zi cu zi, deoarece lungimile de undă sunt atât de mici, încât nu le putem măsura. Lungimea de undă de Broglie este invers proporțională cu impulsul unui obiect – masa înmulțită cu viteza – astfel încât, odată ce un obiect are masa şi energia unei mingi de crichet aruncate cu 160 de kilometri pe oră, lungimea sa de undă se micşorează la doar o miliardime de miliardime de miliardime de micrometru (pe care o scriem ca un număr zecimal urmat de treizeci şi trei de zerouri şi apoi de un unu sau, în notația ştiințifică, 1 × 10-34 metri). Când ajungem la scară umană, lungimile de undă sunt şi mai mici: un obiect care seamănă cu Usain Bolt şi care sprintează pe 100 de metri are o lungime de undă de 200 de ori mai mică decât mingea de crichet, aproximativ 5 × 10-37 metri. [31] Aceste lungimi de undă sunt mult prea mici pentru ca noi să observăm vreun comportament ciudat asemănător cu cel al undelor, aşa că putem folosi fizica clasică pentru a aproxima mişcarea lor şi scăpăm aşa. Dar nu putem face acest lucru atunci când ajungem la obiecte foarte mici, cum ar fi atomii şi particulele, iar, la această scară, toate experimentele

efectuate de la descoperirea sa ne spun că mecanica cuantică are dreptate.

Dar am observat vreodată natura ondulatorie a particulelor? Absolut, da. În 1925, la scurt timp după lucrările lui de Broglie, fizicienii americani Clinton Davisson şi Lester Germer de la Western Electric (mai târziu Bell Labs) au realizat primul experiment în care au reflectat electroni (care aveau o lungime de undă de aproximativ un nanometru) de pe o structură cristalină de nichel dintr-un metal şi au demonstrat că electronii formează modele de interferență exact ca undele de lumină. O moleculă cu diametrul de doar un nanometru are o lungime de undă de Broglie sub un picometru (o miime de nanometru) şi până şi acestea au fost făcute să interfereze. Există un fel de competiție între fizicieni pentru cel mai mare obiect care să prezinte interferențe într-un experiment cu fantă dublă.

Deținătoarea actuală a recordului este Sandra Eibenberger, care a efectuat un experiment magistral în timpul doctoratului său, în 2013, la Viena, şi a observat interferențe în molecule gigantice alcătuite din 800 de atomi, care conțin mai mult de 10 000 de particule subatomice individuale. [32] La această scară, lungimea de undă a moleculei este de aproximativ 500 de femtometri, de aproximativ 10 000 de ori mai mică decât molecula însăşi. Cercetătorii se întreabă acum dacă ar putea crea chiar şi modele de interferență cu obiecte biologice vii, cum ar fi virusuri sau bacterii, ceea ce le-ar permite să înceapă să pună întrebări fascinante despre posibilitatea ca natura ondulatorie a experimentului să fie distrusă de conştiință sau dacă organismele vii pot fi şi ele în două locuri în acelaşi timp când se deplasează prin aparatul cu două fante. Aceştia consideră că le va lua aproximativ zece ani pentru ca experimentul să dea rezultate.

Un punct cheie al dualității undă-particulă, care îi buimăceşte chiar şi pe unii fizicieni, este dacă un electron individual prezintă interferență cu el însuşi, la fel ca fotonii individuali din experimentul cu două fante. Răspunsul este, desigur, da. În momentul în care aceste experimente au fost efectuate în anii 1970, toată lumea a presupus că acest lucru a mai fost făcut înainte. O echipă italiană condusă de Giulio Pozzi din Bologna şi o echipă japoneză condusă de Akira Tonomura[33] de la Hitachi (cele două experimente erau independente) nu şi-au publicat rezultatele nici măcar într-o revistă de fizică, alegând, în schimb, o revistă educațională.[34] Deoarece acceptaseră deja că particulele acționează ca undele, nu au crezut că au demonstrat ceva nou. Doar că, prin anii 1970, echipele aveau echipamentul care le permitea să facă experimentul, un dispozitiv care se bazează pe dualitatea undă-particulă pentru a funcționa şi care se dovedeşte a fi mai comun decât îşi dau seama cei mai mulți dintre noi: un microscop electronic.

Microscoapele electronice au fost inventate în anii 1930, dar, în prezent, poți cumpăra unul dintre aceste dispozitive cu vreo 2–3 milioane de dolari de la un furnizor de echipamente high-tech. Cât de comune sunt acestea? Este foarte greu de spus, dar estimarea mea este că există zeci de mii de astfel de aparate în laboratoare, companii şi institute de cercetare din întreaga lume. Peste drum de laboratorul meu de fizică de la Universitatea din Melbourne, institutul de biologie numit Bio21 găzduieşte mai multe astfel de dispozitive.

Clădirea conține spații de lucru curate şi luminoase, populate de oameni de ştiință în halate albe, dar laboratorul de microscopie electronică prezintă un contrast puternic cu rafturile de pahare Erlenmayer şi eprubete, chiuvetele şi hotele de aburi. Un dispozitiv metalic cilindric de câțiva metri înălțime, însoțit de rafturi de circuite electronice,

microscopul electronic se află într-o cameră dedicată. Un fascicul verde se mişcă de colo-colo, pe un ecran fluorescent, printr-o fereastră de vizualizare, care permite utilizatorilor să privească înăuntru când microscopul funcţionează. Un singur computer controlează dispozitivul şi permite utilizatorilor să vadă imaginile la fel ca la un microscop obişnuit bazat pe lumină.

Numeroşii cercetători care folosesc aceste microscoape sunt uniți de nevoia de a vedea obiecte mici şi felul în care acestea interacţionează, până la scară atomică.

Din nefericire, acest lucru depăşeşte capacitatea microscoapelor normale bazate pe lumină, care pot măsura lucrurile doar până la o anumită limită – cunoscută sub numele de rezoluție – de aproximativ 200 de nanometri sau o mărire de aproximativ 2 000 de ori. Pentru moleculele biologice şi chiar şi pentru unele componente electronice care sunt mai mici de atât, un microscop obişnuit produce o imagine neclară, deoarece este posibil să se vadă doar lucruri care au aceeaşi dimensiune sau mai mari decât lungimea de undă a luminii utilizate.

Folosind un microscop electronic, cercetătorii pot profita de faptul că particulele au şi ele o lungime de undă – lungimea de undă de Broglie – şi, cu cât energia electronului este mai mare, cu atât lungimea de undă este mai mică. Acest lucru permite microscoapelor electronice să lucreze la lungimi de undă de ordinul picometrilor, fiind capabile să rezolve obiecte de până la un nanometru – o miliardime de metru – sau chiar mai mici. Capacitatea de a vedea la această scară a permis o explozie a aplicațiilor „nanotehnologiei” de la sfârşitul anilor 1980, permițând oamenilor de ştiință şi inginerilor să studieze şi să construiască structuri şi compuşi atom cu atom, utilizați în toate domeniile, de la textile la fabricarea alimentelor şi până la proiectarea de medicamente.

Mecanica cuantică şi dualitatea undă-particulă nu sunt importante doar pentru microscoape sau pentru fizicienii care studiază atomii; ele au implicații directe şi puternice asupra chimiei şi biologiei. Mecanica cuantică are o influență directă asupra felului în care se formează, interacționează şi se leagă moleculele: aceasta este motivația pentru cercetarea în domeniul chimiei cuantice. În biologie, multe procese fundamentale pentru viață țin de mecanica cuantică. Noul domeniu al biologiei cuantice de abia acum se confruntă cu numeroasele moduri în care fizica clasică nu reuşeşte să explice aceste procese, iar amploarea proceselor care necesită mecanica cuantică pentru a fi explicate este remarcabilă: de la fotosinteză la felul în care păsările navighează în timpul migrației.

Am menționat mai devreme că unele dintre componentele electronice bazate pe semiconductori utilizează direct efectul fotoelectric, dar, de fapt, acest lucru minimizează importanța mecanicii cuantice în electronică. Toate dispozitivele electronice moderne se folosesc de înțelegerea noastră de până acum a mecanicii cuantice. Evoluția computerelor de la începuturile tuburilor cu vid, pe care le-am întâlnit la începutul cărții, până la tranzistorii şi cipurile care se află în fiecare telefon, computer, maşină şi aparat electrocasnic modern, au la bază efectele cuantice. Mai exact, acestea se bazează pe felul în care electronii ondulatori din siliciu pot lua doar anumite valori de energie, astfel încât creează „niveluri de energie" – într-un mod similar cu electronii din jurul atomului –, dar, când alăturăm mai mulți atomi împreună într-o formațiune de tip cristal, acest lucru poate schimba nivelurile permise. [35] Deoarece acum înțelegem fizica acestui lucru, putem manipula proprietățile siliciului cu mare precizie folosind tehnici pe care le vom prezenta mai târziu în această carte. Natura cuantică a luminii şi a materiei ne-a permis, de

asemenea, să creăm lasere, ceasuri atomice (care sunt esențiale pentru sistemele noastre de navigație GPS) și multe alte tehnologii pe care ne bazăm în fiecare zi. Lumea noastră ar fi de nerecunoscut fără aplicațiile acestei teorii.

Este probabil ca tehnologiile noastre viitoare să se bazeze aproape în întregime pe mecanica cuantică. Calculul cuantic își sporește rapid utilitatea, motiv pentru care Departamentul de Fizică de la Universitatea din Melbourne are și el un microscop electronic de mari dimensiuni la subsol. Acesta este folosit pentru a realiza imagini ale unor straturi subțiri de diamant pe siliciu, în care fizicienii implantează cu grijă ioni de heliu într-un proces numit „dopaj". Fizicienii folosesc aceste tehnici pentru a realiza dispozitive cuantice care pot fi folosite ca bază pentru calculatoarele cuantice. Microscopul electronic, o tehnologie rezultată din înțelegerea timpurie a mecanicii cuantice, este utilizat pentru a realiza următoarea generație de tehnologie cuantică, continuând astfel circuitul de feedback între cercetare și tehnologie.

În acest capitol, am văzut cum problemele cu care s-a confruntat fizica clasică au sfârșit prin a conduce la o descriere complet nouă a naturii la scară mică: mecanica cuantică. Printre toate acestea, Robert Millikan și echipa sa au petrecut doisprezece ani frustranți în laborator, perfecționându-și meșteșugul pentru a aduna acele prime informații cruciale despre detaliile efectului fotoelectric, demonstrând, în cele din urmă, că ipoteza temerară a lui Einstein era corectă.

Millikan nu a inventat mecanica cuantică, dar experimentele sale au fost importante pentru a stabili că teoriile mecanicii cuantice reflectă cu adevărat realitatea naturii. Așa progresează cunoașterea. Nu există un moment de inspirație bruscă, dar ne croim oricum drum în întuneric, petrecând adesea perioade lungi de timp pentru a descoperi

detalii, încercând să ne facem o idee despre acest colț al Universului în care trăim. În cele din urmă, se produce un declic şi o nouă imagine a naturii începe să prindă contur în mintea noastră.

În prezent, sărbătorim mecanica cuantică drept un triumf teoretic şi conceptual, iar acest lucru este, fără îndoială, adevărat, dar, fără experimente, nu am fi ştiut niciodată că mecanica cuantică descrie, de fapt, comportamentul lumii din jurul nostru. Nu am fi fost niciodată capabili să o folosim – în sens practic – aşa cum o facem acum. Din aceste experimente detaliate şi obscure s-a dezvoltat înțelegerea noastră în ceea ce priveşte lumea subatomică. Aceste cunoştințe au jucat un rol important în crearea de dispozitive electronice, calculatoare, panouri solare şi instrumente cu capacitatea de a crea imagini ale obiectelor la scări la care microscoapele optice nu pot ajunge – toate acestea bazându-se pe consecințele ciudate ale faptului că lumea subatomică nu se comportă conform fizicii clasice.

Până acum am văzut felul în care câteva experimente au scindat fizica clasică, au desființat ideea atomului ca fiind cel mai mic element constitutiv al materiei şi au condus la o viziune complet nouă asupra fizicii, în care atomii – care constau în cea mai mare parte din spațiu gol – se pot schimba în timp, lumina se poate comporta ca o particulă, iar particulele se pot comporta ca nişte unde.

Razele X şi electronul, radioactivitatea şi nucleul atomic, iar acum mecanica cuantică au schimbat lumea noastră pentru totdeauna. Dar ne mai aşteptau şi alte surprize. După ce am petrecut timpul în ultimele capitole explorând profund natura materiei, este timpul să ne ridicăm ochii mai sus. Atenția noastră se îndreaptă spre surprizele despre natură care au plouat, la propriu, din cer peste oamenii de ştiință.

Partea a doua
Materia dincolo de atomi

Dacă setea noastră de cunoaştere este de nepotolit din cauza imensităţii necunoscutului, activitatea în sine lasă în urmă o comoară tot mai mare de cunoştinţe reţinute şi păstrate de fiecare civilizaţie ca parte integrantă a lumii sale.
Hannah Arendt, Viaţa spiritului, 1973

Capitolul 4

Camere cu ceaţă: raze cosmice şi o ploaie de particule noi

Pe dealul de deasupra semnului de la Hollywood, se află o clădire maiestuoasă din piatră albă, care dă înspre Los Angeles. Nu este un conac, ci un muzeu public: Observatorul Griffith. Acolo, vizitatorii urmăresc spectacole de planetariu şi privesc cerul nopţii prin telescoape, explorând locul lor în cosmos.

Înăuntru, pe marmura rece şi întunecată, se află o serie de exponate, dintre care unul – într-o cutie de plexiglas de un metru pătrat – deţine cheia pentru următorul pas în călătoria noastră. Este discretă, oarecum pusă în umbră de bucăţi de meteorit, de roci lunare şi de o imagine uriaşă a cerului nopţii. Dar vizitatorii curioşi sunt răsplătiţi cu o experienţă hipnotizantă: mici dâre de condensare se formează sporadic pe fundalul negru, aproximativ douăzeci de dâre în fiecare secundă. Ele apar brusc, coboară graţios timp de o jumătate de secundă, apoi dispar.

Dispozitivul este o cameră cu ceaţă, unul dintre primele tipuri de detectoare de particule, şi permite oamenilor să

vadă particulele în timp ce trec pe lângă ei într-o sută de microsecunde. În interior se află urme scurte, groase cât un creion, formate de particule alfa (nuclee de heliu) şi urme subțiri, uşoare, asemănătoare unei pânze de păianjen, care sunt în mare parte electroni (radiații beta) sau raze gamma. Aceste entități sunt mai mici decât atomii, obiecte din natură pe care nu avem cum să le vedem, să le atingem sau să le detectăm în vreun fel cu simțurile noastre. Totuşi, iată un dispozitiv care ne permite să le vedem. Deşi nu putem percepe aceste particule în mod direct – ele sunt mult prea mici pentru asta –, camerele cu ceață ne permit, în schimb, să vedem efectul pe care îl lasă în urmă.

Această versiune specială de la Observatorul Griffith, numită „cameră cu ceață de difuzie", este un proiect din 1936 al fizicianului american Alexander Langsdorf, perfecționat față de invenția originală de la începutul anilor 1900.

Este o idee simplă, dar care a transformat înțelegerea noastră despre constituenții fundamentali ai naturii. În interiorul camerei închise ermetic, un abur de alcool porneşte de sus şi apoi cade pe o placă metalică rece din partea de jos. Când cade şi se răceşte, intră într-o stare numită „suprasaturație", în care orice mică perturbare va face ca vaporii să formeze picături. În cazul în care particule încărcate trec prin ea, acestea ionizează vaporii, lăsând în urma lor suficientă energie pentru a forma o mică dâră de ceață, precum dâra albă pe care o vedem în spatele unui avion cu reacție.

În acest capitol, urmărim camera cu ceață de la începuturile umile până la apogeul său, la începutul anilor 1930, când a facilitat o serie de descoperiri remarcabile – inclusiv noi particule complet neprevăzute, care ne-au schimbat viziunea asupra materiei. Acestea erau particule care, de fapt, nu erau deloc părți ale atomilor. Vom vedea

cum acest nou detector de particule i-a scos pe experimentaliştii din subsolurile lor şi i-a dus pe munți, deschizând noi perspective şi lăsându-i pe teoreticieni să se întreacă pentru a-i ajunge din urmă.

Vom vedea şi cum aceste noi descoperiri despre materie au condus la moduri complet noi de a vedea interiorul piramidelor şi vulcanilor şi au dezvăluit noi informații despre planeta noastră.

Această nouă eră a descoperirilor a început cu o întrebare aparent simplă, aceeaşi pe care vizitatorii Observatorului Griffith o pun adesea dacă îşi fac timp să observe ploaia neîncetată de urme de particule care se deplasează prin camera cu ceață. Şi anume: de unde vin toate aceste particule?

La începutul anilor 1900, oamenii de ştiință îşi puneau aproape exact aceeaşi întrebare. După cum spuneau chiar ei, îşi doreau să afle de unde provenea radiația suplimentară pe care o vedeau pe instrumentele lor. În laboratoare din Berlin, Viena şi Cambridge, studiile privind radiația erau efectuate cu ajutorul unui dispozitiv simplu şi destul de rudimentar numit electroscop. O proprietate care a fost uşor de prezis a fost aşa-numita lege a inversului pătratului, conform căreia, dacă experimentatorul se află la o distanță de două ori mai mare față de o sursă de radiații, nivelul detectat scade de patru ori. Cel puțin aşa se presupunea că se comportă, dar unii oameni de ştiință isteți au observat că instrumentele lor păreau să capteze o radiație suplimentară. De ce existau mai multe radiații decât se aşteptau? Fără un răspuns la această nelămurire, nu prea puteau spera să înțeleagă ce se întâmplă în experimentele lor din laborator.

Răspunsul părea simplu: proveneau de la mineralele din Pământ. În activitatea sa de descoperire a radiului şi a poloniului – ambele folosite ca surse de laborator –, poveştile cunoscute spun că Marie Curie a petrecut ani de zile într-o

baracă, măcinând şi rafinând tone de material dintr-un mineral numit plehbendă. Aceste două elemente noi erau o marfă prețioasă pentru oamenii de ştiință care studiau proprietățile radiațiilor şi proveneau chiar din Pământ. Prin urmare, în mod logic, aceleaşi minerale trebuie să fi fost cele care au creat acea radiație de fond care le dădea de furcă. Răspunsul părea clar, la fel şi modalitatea de a-l testa. Dacă radiațiile proveneau din Pământ, ar fi trebuit ca mai puține să fie vizibile în atmosferă. Ei bănuiau că, la aproximativ 300 de metri în aer, radiația suplimentară ar trebui să dispară complet.

Pentru un fizician tânăr şi aventuros, aceasta era provocarea perfectă. Aveau nevoie doar de un instrument care să detecteze radiația şi altitudinea. La începutul anilor 1900, exista o singură modalitate de a ajunge la altitudini mari, dacă nu erai alpinist, şi anume, cu ajutorul unui balon cu aer cald. Cel puțin trei cercetători diferiți au luat rapid zborul în căutarea radiației de fond, aducând cu ei electroscoape simple pentru studiile lor[1], dar toți au eşuat. Mişcarea baloanelor a zguduit electroscoapele, iar schimbarea de presiune a făcut ca acestea să aibă scurgeri de aer şi să dezvolte probleme de izolare electrică.

Electroscoapele erau populare, deoarece puteau fi fabricate la prețuri mici de aproape oricine. Era nevoie doar de o tijă metalică montată în interiorul unui recipient etanş, cum ar fi un borcan, astfel încât să fie izolat electric. De capătul tijei se atârnau două foițe subțiri de aur. Atunci când un obiect electrizat – cum ar fi o baghetă de sticlă frecată cu blană – atingea vârful, sarcina se transfera în jos pe foițele de aur, făcându-le să se depărteze din cauza repulsiei electrice şi să formeze un model de V răsturnat. Foițele ar rămâne aşa pentru totdeauna dacă dispozitivul ar fi perfect izolat. Pentru a măsura radiația, pur şi simplu încărcai electroscopul, apoi aduceai o mostră radioactivă în

apropierea acestuia, ceea ce ar ioniza o parte din aerul din interior şi ar face ca foiţele să îşi piardă sarcina şi să coboare încet una spre cealaltă. Rata de scădere a foiţelor se traducea în volumul de radiaţii la care era expus dispozitivul. Acestea au fost evident concepute pentru o masă stabilă de laborator, nu pentru a fi duse la altitudine într-un balon.

Ca urmare a acestei nereuşite şi a confuziei crescânde, preotul iezuit şi fizicianul german Theodor Wulf şi-a dat seama că soluţia consta în fabricarea unui electroscop mai robust. În 1909, Wulf a modificat electroscopul prin utilizarea a două fire subţiri acoperite cu platină în loc de folie de aur. Acest lucru s-a dovedit a fi mult mai fiabil. Wulf a călătorit la Paris pentru a-şi testa instrumentul la două altitudini diferite. Mai întâi, a stat la baza Turnului Eiffel şi a măsurat nivelul de radiaţie de acolo. Apoi, a urcat în turn şi, la o altitudine de 300 de metri, exact acolo unde se aştepta ca radiaţia să înceteze, a constatat că radiaţia persista. Alţii i-au adoptat metoda, dar rezultatele obţinute i-au lăsat la fel de perplecşi. Fizicianul italian Domenico Pacini a decis să coboare în altitudine, în loc să urce, şi a luat un electroscop Wulf sub apă, unde se aştepta să găsească mai multe radiaţii, fiind înconjurat de mineralele Pământului. El a constatat contrariul. Electroscopul îmbunătăţit părea să funcţioneze, însă rezultatele nu erau cele la care se aştepta. Câţiva oameni de ştiinţă au început să se gândească la ideea că, până la urmă, radiaţiile nu proveneau de la mineralele terestre.

Printre aceştia se număra şi fizicianul austriac Victor Hess, în vârstă de 29 de ani, care şi-a văzut acum prilejul favorabil. A angajat un pilot de balon cu aer cald, s-a înfăşurat într-o haină de lână şi s-a ridicat de pe un câmp de lângă Viena. Balonul s-a înălţat la o altitudine de peste 5 300 de metri, cu mult peste înălţimea taberei de bază a

Everestului. Pe balonul său cu aer cald, Hess a legat două noi electroscoape Wulf, special adaptate pentru a face față schimbărilor de temperatură şi presiune. În ciuda aerului rarefiat şi a temperaturii de aproximativ -20 grade Celsius, a reuşit să facă măsurători regulate şi, în cele din urmă, a coborât.

Hess nu a fost primul care s-a ridicat la asemenea altitudini sau care a încercat să măsoare nivelurile de radiații din atmosferă, dar a fost prima persoană care a făcut acest lucru suficient de bine pentru a obține un rezultat fiabil. Întors la sol, Hess a putut să se uite la ce înregistrase. Pe măsură ce se înălțase, volumul de radiații scăzuse puțin la început, dar apoi a început să crească şi să crească până când a devenit clar că, la altitudini mari, erau mult mai multe radiații decât la altitudini mici. Radiațiile nu puteau să vină de pe Pământ – trebuie să fi venit din afara atmosferei. Dar de unde? Hess a mai făcut o ascensiune cu balonul în timpul unei eclipse solare, ceea ce a exclus Soarele ca sursă posibilă. El a măsurat o sursă de radiații cu totul nouă. Acum Hess, Wulf, Pacini şi alți fizicieni şi-au dat seama că radiațiile nu se găseau doar în minerale sau în laborator. Existau radiații care veneau din spațiu.

Radiațiile descoperite de Hess, numite raze cosmice[2], au rezolvat misterul excesului de radiații care îi chinuia pe fizicieni de mai bine de 15 ani, dar, în acest fel, le-a schimbat complet viziunea asupra locului în care puteau fi găsite radiații. Când vorbesc de radiații în acest context, ar trebui să fie clar că mă refer la radiațiile ionizante, cele care au suficientă energie pentru a elibera electroni din atomi. Acestea includ cele trei tipuri de radiații pe care oamenii de ştiință le cunoşteau la acel moment: radiații alfa (nuclee de heliu), radiații beta (electroni) sau radiații gamma (lumină de înaltă energie). Undeva în spațiu, interacțiuni violente şi puternice emiteau radiații suficient de intense pentru a

călători pe distanțe mari, prin atmosferă şi până pe Pământ. Dar de unde? Cum s-a format radiația? Era un tip nou sau unul pe care îl cunoşteau deja? Interacționa cu atmosfera sau trecea direct prin ea? Hess descoperise razele cosmice, dar nu avea prea multe de spus despre natura lor. Era nevoie de un instrument pentru a afla mai multe despre radiații, atât din razele cosmice, cât şi din laboratoarele de pe Pământ.

Hess şi colegii săi îşi doreau, de fapt, o modalitate de a vedea radiația, ceea ce reprezenta o provocare deosebită, deoarece aceasta este, în cea mai mare parte, invizibilă. Însă ştiau că fizica făcuse vizibile alte părți ale naturii prin utilizarea unor instrumente ingenioase. De exemplu, adâncurile spațiului cosmic nu puteau fi văzute înainte ca telescopul să permită colectarea luminii slabe, lărgindu-ne viziunea asupra Universului şi a locului nostru în el. Misterele biologiei au fost şi ele invizibile până la apariția primelor microscoape, care au scos la iveală o lume abundentă de microorganisme, ceea ce a dus la salturi enorme în înțelegerea transmiterii bolilor şi a formării vieții înseşi. Acum, la începutul anilor 1900, fizicienii se aflau într-o prăpastie similară, având nevoie de o descoperire revoluționară în capacitatea lor de a vizualiza radiațiile.

Charles „C.T.R.” Wilson era un fizician scoțian, timid şi micuț de statură, care şi-a început cariera ştiințifică în perioada în care a fost descoperită radiația.

Originea sa a jucat un rol important în dezvoltarea ideilor sale, mai ales pentru că Scoția se întâmplă să fie un loc aproape perfect pentru a studia norii. În 1894, la vârsta de 25 de ani, Wilson a călătorit la Fort William, pe cel mai înalt munte din insulele britanice, Ben Nevis.

Timp de 355 de zile pe an, vârful aplatizat distinct al lui Ben Nevis este învăluit într-o ceață perfidă, dar Wilson a ajuns la un fel de miracol: era o vreme frumoasă fără

precedent. A reuşit să urce pe Ben Nevis şi a rămas acolo timp de două săptămâni, oferindu-se voluntar la staţia meteorologică. Chiar dacă a lucrat la Laboratorul Cavendish din Cambridge, prima sa dragoste nu a fost fizica, ci meteorologia. De pe vârf, norii se aflau în mare parte sub el şi, din acest punct de observaţie, a urmărit efectele luminii care dansa pe nori, observând inele colorate numite „nimburi" care se formau în umbra muntelui pe care se afla. A fost fascinat de aceste efecte şi a dorit să le reproducă şi să le studieze în laborator. Prin urmare, prima sa sarcină a fost să descopere cum să creeze nori.

Întors la Cambridge, a conceput un experiment pentru a face exact acest lucru. A fost realizat cu un pahar răsturnat în interiorul unui borcan mare de sticlă umplut cu apă şi cu o serie de ţevi şi supape de sticlă conectate la un al doilea borcan ţinut în vid. Pentru a pune în funcţiune camera, Wilson trăgea de un fir, dislocând un mic dop de plută care permitea aerului din pahar să se extindă, scăzând brusc presiunea şi temperatura. [3] Oricine a deschis o sticlă de suc şi a văzut cum se formează o ceaţă în partea de sus făcând un zgomot efervescent a văzut acelaşi proces în acţiune. Când aerul se extinde odată cu scăderea presiunii, acesta devine suprasaturat. Dacă există condiţiile potrivite, umiditatea din aer se condensează pe particulele de praf şi formează picături fine, producând un norişor (sau o ceaţă). Wilson a reuşit să reproducă cu succes acest lucru în laborator şi era pe punctul de a trece la recrearea efectelor luminii pe care le văzuse de pe vârful Ben Nevis, când a descoperit ceva ce nu căuta: când a folosit în experimentul său aer fără praf, picăturile de ceaţă s-au format în continuare.

Cum a fost posibil acest lucru? Pentru a forma ceaţă, trebuia să existe o anumită perturbare care să iniţieze formarea picăturilor; practic, trebuia să existe un fel de

nuclee de condensare. Până acum, asta făcea praful. Dar, în condițiile în care aerul era lipsit de praf, care era cauza formării picăturilor? Din experimentele sale anterioare, Wilson își putea da seama că ceea ce provoca perturbația era de dimensiuni mici, poate de mărimea moleculelor sau atomilor din aer, ceea ce l-a condus la ideea tentantă că picăturile care formau ceața ar putea să se formeze pe ionii din incintă. Dacă acest lucru ar fi fost adevărat, ar fi putut găsi o modalitate de a face vizibili și de a număra atomii sau moleculele din aer.

Wilson nu era interesat de observarea radiațiilor. Era în 1895, iar radiațiile erau atât de noi, încât nu erau bine înțelese. El și-a urmărit ipoteza că ionii din aer erau responsabili de formarea ceței. Și-a refăcut experimentul cu o instalație mai complexă, concepută pentru a provoca o expansiune și mai rapidă. Când noul său experiment a fost gata, Wilson a luat un tub primitiv cu raze X și l-a îndreptat înspre interiorul camerei. El a descoperit că, în condițiile potrivite, razele X produceau un număr mare de picături, amplificând efectul pe care îl observase anterior. Prezența sarcinilor electrice provoca formarea ceței. Bănuiala sa a fost confirmată: razele X creau ioni în aer, iar aceşti ioni creau nuclee de condensare.

Wilson lucra la acest lucru în timp ce alți fizicieni luau electroscoapele în baloane cu aer cald și încercau să rezolve misterul radiației cosmice. El nu ignora evoluțiile din domeniul radiațiilor – la urma urmei, probabil îi vedea zilnic pe Ernest Rutherford și J.J. Thomson. La un moment dat, în 1901, a fost suficient de interesat încât să facă un ocol pentru a căuta radiația de fond cu un electroscop, pe care l-a instalat în tunelul companiei Caledonian Railway, pe timp de noapte. La fel ca și ceilalți, el căuta radiații suplimentare provenite de la mineralele Pământului, dar nu a observat nicio diferență notabilă între cantitatea de radiații din tunel

şi cea pe care o găsise în laboratorul său. [4] Şi-a întors atenţia la munca sa mai promiţătoare, lăsându-i pe alţii să se ocupe de misterioasa radiaţie.

Lipsa aparentă de interes a lui Wilson pentru radiaţii şi experimentul său ciudat de formare a ceţei au făcut din el o ciudăţenie în laboratorul Cavendish. Îşi petrecea zilele încercând să obţină prin suflare obiecte complexe din sticlă, care se spărgeau adesea. Toţi studenţii şi personalul puteau să empatizeze cu el, deoarece toţi trebuiau să înveţe să sufle sticlă în aşa-numitul „laborator creşă", un laborator special în care studenţii cercetători învăţau abilităţile complexe de construire a unor dispozitive precum electrometrele înainte de a se angaja într-un program de reproducere a experimentelor efectuate anterior. Mulţi dintre ei îşi vor aminti mai târziu cu drag de sunetul de fundal al lui Wilson în timp ce sufla sticla, care a constituit aproape o coloană sonoră a timpului pe care l-au petrecut la Cavendish.

Un atelier ştiinţific de suflat sticlă este o raritate astăzi, aşa că ne este greu să ne dăm seama ce presupunea realizarea unui experiment precum o cameră cu ceaţă înainte de existenţa maşinilor de proiectare şi frezare asistată de calculator pe care le folosim pentru a realiza experimentele moderne. A fost nevoie de ani de zile pentru a stăpâni tehnicile necesare, dar răbdarea şi blândeţea caracteristice lui Wilson aveau să-l conducă la crearea a ceea ce Rutherford a numit „cel mai original şi mai minunat instrument din istoria ştiinţei". [5]

Realizarea unei componente din sticlă era un proces artizanal care presupunea încălzirea sticlei la temperatura potrivită. Într-o mână, Wilson ţinea un arzător portabil. Pentru a crea suficientă căldură să facă sticla să se topească exact aşa cum avea nevoie, el deschidea puţin gazul, ceea ce făcea ca arzătorul să scoată un şuier inconfundabil: sunetul pentru care va fi ţinut minte mai târziu. Exact la momentul

potrivit, îşi folosea gura pentru a sufla aer printr-o țeavă, umflând vasul de sticlă cu forța potrivită, în timp ce lucra şi modela sticla topită cu cuțite şi alte unelte.

Era un proces fierbinte şi solicitant din punct de vedere fizic, dar, în doar câteva minute, Wilson putea să remodeleze cu măiestrie materia primă într-o sticluță, un balon sferic sau o spirală. Piesele principale ale camerelor sale cu ceață erau cilindri care trebuiau să se îmbine perfect, ceea ce necesita adesea ore întregi de şlefuire laborioasă a sticlei după ce aceasta era răcită. De departe, cel mai alunecos proces era cel de îmbinare a diferitelor piese, când fiecare nouă piesă risca să distrugă întregul. De cele mai multe ori, întregul experiment ajungea să se spargă pe podea. Wilson, spre deosebire de Rutherford, nu îşi înjura niciodată aparatele. Spunea doar liniştit „vai, vai, vai” şi o lua de la capăt.

Astăzi, primele camere cu ceață ale lui Wilson sunt păstrate în muzeul din New Cavendish Laboratory din Cambridge şi, la prima vedere, arată destul de primitiv. Natura lor simplă dă impresia că acestea erau zilele uşoare ale descoperirilor, când orice fizician cât de cât priceput putea face o revelație revoluționară despre Univers. Dar, odată ce înțelegem nivelul de îndemânare şi răbdare necesar pentru a realiza ceva util din sticlă la începutul anilor 1900, Wilson şi colegii săi experimentatori încep să pară cu totul extraordinari.

Folosind acest nou instrument puternic, au apărut descoperiri care ne-au schimbat pentru totdeauna viziunea asupra materiei.

Când Wilson a conceput camera, nu era nici pe departe clar dacă dispozitivul ar putea fi folosit pentru a studia radiațiile într-un mod cantitativ serios, chiar dacă părea să răspundă la razele X. Abia după ce Rutherford a determinat natura radiațiilor alfa şi beta, Wilson s-a întors la camera cu

ceață în 1910, de data aceasta cu o energie revigorată şi un obiectiv ambițios. Plănuia să facă din el un instrument util pentru observarea particulelor încărcate.

În 1911, la cincisprezece ani după ce a inventat camera cu ceață, Wilson a devenit prima persoană care a văzut şi fotografiat mişcarea particulelor alfa şi beta individuale. A perfecționat dispozitivul astfel încât particulele încărcate să creeze acum dâre albe care puteau fi iluminate şi fotografiate. A descris aceste dâre lăsate în urmă de electroni în cameră ca pe nişte „mici şuvițe şi dâre de ceață”.[7] Wilson i-a arătat o fotografie a urmelor de particule alfa fizicianului australian-britanic W.H. Bragg, care a preconizat primul că o particulă alfa ar trebui să încetinească inițial treptat înainte de a se opri brusc, interacționând cel mai puternic la sfârşitul traiectoriei sale, producând o urmă de ceață care creşte în opacitate şi grosime pe măsură ce particula încetineşte şi, în cele din urmă, se opreşte. Wilson şi Bragg au constatat că „similitudinea dintre fotografie şi imaginea ideală a lui Bragg era uimitoare”.[8]

Cercetătorii din întreaga lume au adoptat camera cu ceață încet, dar constant, făcând adaptări astfel încât aceasta să devină şi mai utilă. Până la sfârşitul anilor 1920, majoritatea camerelor cu ceață erau plasate între polii unui magnet mare, ceea ce făcea ca traseele particulelor încărcate să se curbeze. O particulă pozitivă se curba într-o direcție, o particulă negativă în sens opus, iar o particulă cu multă energie se curba mai puțin decât una cu energie scăzută. Cu ajutorul unor măsurători atente ale fotografiilor, cercetătorii au putut determina sarcina electrică şi energia particulelor. În laborator, aceştia au învățat cum arată diferite particule într-o cameră cu ceață şi au putut determina proprietățile acestora.

Ideile despre interacțiunile dintre particule, care fuseseră dobândite prin experimente dureroase de-a lungul anilor, puteau fi văzute acum desfăşurându-se în fața ochilor fizicienilor. Era momentul potrivit să se aplice această nouă tehnică pentru a înțelege natura razelor cosmice.

La Caltech, în Pasadena, Robert Millikan – care se mutase acolo din Chicago în 1921, după experimentele sale asupra efectului fotoelectric (capitolul 3) – l-a încurajat pe fostul său doctorand Carl Anderson să folosească o cameră cu ceață pentru a urmări nişte lucrări intrigante despre razele cosmice. În 1929, omul de ştiință rus Dmitri Skobelțân găsise într-o cameră cu ceață nişte urme care abia dacă se îndoiau, ceea ce indica faptul că acestea aveau o energie enormă, de peste 5 000 MeV, depăşind sursele radioactive din laboratoare de o mie de ori.

Nu doar că aveau o energie ridicată, dar apăreau şi în grupări surprinzătoare, două, trei sau mai multe raze părând să provină dintr-un punct situat chiar în afara camerei. Rezultatele sale au sugerat că, în final, camera cu ceață ar putea dezvălui ceva nou şi interesant despre razele cosmice.

Anderson, fiul unor imigranți suedezi, a hotărât, încă de când era elev la o şcoală din Los Angeles, că vrea să devină inginer electrician, în ciuda faptului că nu avusese în familie membri care să fi lucrat în domenii tehnice. Un profesor l-a încurajat să meargă la Caltech, unde şi-a dat seama că fizica înseamnă mult mai mult decât scripeți şi pârghii. A decis să schimbe specializarea şi nu a mai privit niciodată în urmă. [1] Anderson folosise deja o cameră cu ceață la disertația sub îndrumarea lui Millikan şi descoperise că utilizarea vaporilor de alcool în locul vaporilor de apă făcea ca urmele să fie mult mai strălucitoare şi mai uşor de fotografiat. A început să construiască o nouă cameră cu ceață în acest scop.

Anderson a găsit un motor-generator de la departamentul de aeronautică şi a proiectat restul în jurul acestuia. Nu existau bani pentru o inginerie pretenţioasă – până la urmă, era începutul Marii Crize Economice –, aşa că experimentul său a fost o monstruozitate, dar a funcţionat. Camera cu ceaţă se afla în centrul dispozitivului, înconjurată de ţevi de cupru care conduceau electricitatea pentru a crea un electromagnet mare. Ţevile erau goale pe dinăuntru, iar prin ele curgea apă pentru a împiedica magnetul să se topească.

Împreună cu bucăţile de stâlpi de fier necesare pentru a direcţiona câmpul magnetic, experimentul avea dimensiunea unei maşini mici şi cântărea aproximativ două tone. Camera în sine era vizibilă printr-o gaură într-un capăt al magnetului, de unde un aparat foto putea face fotografii ale urmelor de ceaţă.

Pentru a o pune în funcţiune, Anderson a trebuit să creeze în mod repetat o expansiune foarte rapidă a vaporilor de alcool din interior, lucru pe care l-a realizat cu ajutorul unui piston mobil, ceea ce crea o bubuitură puternică de fiecare dată când maşinăria funcţiona. Restul campusului de la Caltech auzea bubuiturile repetitive răsunând de pe acoperişul clădirii, unde fusese asamblat.

Din fericire pentru restul ocupanţilor, Anderson a operat experimentul doar pe timp de noapte, deoarece acesta avea nevoie, pentru a funcţiona, de o putere electrică de 425 kW – o parte substanţială din consumul de energie al întregului campus.

Cercetând dovezile sale fotografice, Anderson a descoperit că aproximativ cincisprezece din cele 1 300 de fotografii păreau să arate urme care corespundeau unor particule încărcate pozitiv. Dar urmele erau prea lungi pentru cea mai uşoară particulă cu sarcină pozitivă cunoscută, protonul. Ce era această particulă aparent nouă? Particulele din fotografiile sale aveau o unitate de sarcină pozitivă şi o masă

similară cu cea a electronului. La început, le-a numit, pur şi simplu, „pozitive uşor de deviat”, dar până la momentul în care a scris publicația, a ajuns la o concluzie surprinzător de îndrăzneață. El credea că a descoperit un tip complet nou de particulă fundamentală, pe care a numit-o „pozitron”. [11]

Ceea ce Anderson nu ştia era că, cu câțiva ani mai devreme, în 1928, fizicianul britanic Paul Dirac preconizase, doar prin intuiție matematică, că ar trebui să existe pozitroni. Dirac a combinat teoria mecanicii cuantice, pentru a descrie lucrurile care sunt foarte mici, cu teoria relativității speciale a lui Einstein, pentru a descrie lucrurile care se deplasează foarte repede, în speranța de a obține informații despre atom. Dirac nu vorbea mult, dar munca sa a reuşit să unifice două dintre cele mai discutate teorii noi din fizică. Ecuația pe care a produs-o, cunoscută, pur şi simplu, sub numele de ecuația Dirac, este considerată de mulți ca fiind cea mai frumoasă ecuație din întreaga fizică. De asemenea, a avut o putere predictivă neaşteptată. La fel cum rădăcina pătrată a lui 4 poate avea soluțiile +2 sau -2, ecuația lui Dirac a preconizat că ar trebui să existe particule identice cu electronul – adică având aceeaşi masă –, dar cu sarcină electrică opusă. Din cauza implicațiilor ciudate, Dirac nu era sigur de manifestările fizice ale teoriei sale, dar părea să preconizeze faptul că fiecare tip de particulă cunoscută ar trebui să aibă o versiune opusă, care a devenit cunoscută sub numele de antimaterie. [12]

Întâmplător, Dirac era prieten cu unul dintre fizicienii experimentalişti din Laboratorul Cavendish, Patrick Blackett, care dezvolta în continuare tehnica camerei cu ceață împreună cu fizicianul de origine italiană Giuseppe Occhialini.

Atunci când Dirac a venit cu noua sa teorie, a împărtăşit-o cu Blackett şi împreună au descoperit că, dacă un pozitron ar apărea în câmpul magnetic al unei camere cu

ceață, ar lăsa o urmă identică cu cea a unui electron, dar curbată în direcția opusă. Cu aproape trei ani înainte de experimentul lui Anderson, ei au analizat fotografiile lui Blackett din camera cu ceață, rezultate din experimentele cu surse radioactive din laborator. Dirac a considerat că păreau să existe o mulțime de dovezi pentru pozitroni, dar Blackett a considerat că dovezile erau mult prea nesigure pentru a fi publicate. El argumenta că ar putea să existe electroni veniți din exterior care, din întâmplare, s-au ciocnit în așa fel încât să arate ca niște pozitroni. Nu avea cum să facă diferența între acești electroni rătăcitori și adevărații pozitroni fără a reface experimentele. [13]

Este posibil ca Blackett să fi fost precaut și pentru că ideea lui Dirac nu fusese tocmai bine primită. Unii dintre marii oameni de știință ai vremii erau – și asta este puțin spus – neconvinși de ideea că Universul nostru ar putea fi format din două tipuri de materie, materie „normală" și o „antimaterie" în oglindă.

Fizicianul austriac Wolfgang Pauli, unul dintre pionierii teoriei cuantice, a calificat-o drept „un nonsens", iar Niels Bohr (vezi capitolul 2) a fost „complet sceptic". [14] Werner Heisenberg, un fizician teoretician german care a creat o mare parte din mecanica cuantică, inclusiv principiul incertitudinii, a declarat în 1928 că „cel mai trist capitol al fizicii moderne este și rămâne teoria lui Dirac". [15]

Blackett a plecat să facă niște calcule pentru a determina dacă într-adevăr aveau sau nu dovezi pentru extraordinara teorie a lui Dirac, dar, în timp ce încă se gândea la această problemă, a ajuns la ei vestea că Anderson descoperise pozitronul.

Anderson era prea ocupat cu experimentul său ca să mai citească lucrările lui Dirac. Poate că această concentrare a fost bine întemeiată, având în vedere că a reușit să le-o ia

înainte lui Blackett şi Occhialini la descoperirea pozitronului.

Însă, rezultatele sale au fost puternic dezbătute de comunitatea de fizicieni, deoarece câteva fotografii individuale păreau dovezi insuficiente pentru a susţine o teorie atât de extraordinară. Având în vedere acest lucru, echipa din Cambridge şi-a dat seama că avea un avantaj. În loc să colecteze mii de fotografii în speranţa că unele dintre ele ar putea arăta ceva interesant, aşa cum a făcut Anderson, Blackett şi Occhialini au descoperit cum să obţină o rată de succes de aproximativ 80% în captarea particulelor interesante care trec prin cameră. În acest scop, ei au dezvoltat o metodă electrică pentru a „declanşa" camera, plasând un contor Geiger deasupra şi dedesubtul dispozitivului, astfel încât, dacă ambele contoare detectau o particulă în acelaşi timp, camera ar fi fost fotografiată. În 1932, aceştia aveau atât metoda, cât şi imperativul de a continua munca lui Anderson cu propriile experimente.

Blackett şi Occhialini au confirmat rapid existenţa pozitronilor, iar cu observaţiile lor bogate în date au putut şi să aprofundeze detaliile. Ceea ce au observat au fost multe evenimente în care electronii şi pozitronii au fost găsiţi împreună în fotografii. De fapt, părea să existe un număr egal de electroni şi de pozitroni în fotografii: materia normală şi antimateria erau create în proporţii egale. Blackett şi Occhialini au reuşit să observe acest proces în acţiune atunci când razele gamma de înaltă energie (prezente în razele cosmice) au intrat în cameră şi au creat un electron şi un pozitron în acelaşi timp, într-un proces cunoscut sub numele de producţie de perechi. Aceasta a fost prima observaţie a fotonilor (raze gamma) care se transformă în materie (electroni şi pozitroni), un proces preconizat de combinaţia dintre mecanica cuantică şi relativitatea lui Einstein. Existenţa acestor interacţiuni a

scos la iveală o a doua consecinţă uluitoare a ecuaţiei lui Dirac, care abia atunci începea să fie cunoscută de teoreticienii vremii: antimateria şi materia se pot anihila reciproc atunci când intră în contact, transformându-şi masa în energie, emisă sub formă de lumină.

Cu alte cuvinte, masa poate fi transformată în energie şi viceversa. Ei au colectat atât de multe fotografii ale pozitronilor şi ale producerii de perechi, încât lumea ştiinţifică nu s-a mai putut opune concluziilor din teoria lui Dirac. Oricât de ciudat părea, antimateria era reală.

În loc să rescrie povestea şi să-şi atribuie un fel de intuiţie după aceea, Anderson a insistat că „descoperirea pozitronului a fost complet accidentală”. [1] Era una dintre acele descoperiri gata de exploatat şi s-ar fi întâmplat în curând în altă parte dacă nu ar fi făcut-o el primul. Alături de Victor Hess, Anderson a primit premiul Nobel în 1936, la vârsta de 31 de ani, fiind cea mai tânără persoană care a câştigat vreodată un Nobel pentru fizică. Charles Wilson primise unul în 1927 pentru inventarea camerei cu ceaţă, iar Dirac a primit unul în 1933. [17]

Cu prima sa încercare, Anderson făcuse un progres remarcabil în utilizarea camerei cu ceaţă pentru a explora razele cosmice. Dar acesta nu a fost sfârşitul drumului. Descoperirea pozitronului a dat de înţeles că investigarea razelor cosmice va duce în direcţii interesante – că razele cosmice ar putea fi folosite pentru a descoperi particule necunoscute până atunci şi că natura era mai bogată şi mai abundentă decât se ştia până în acel moment.

*

Experimentul cu pozitroni arătase ce putea fi detectat la nivelul de bază, dar încă se ştia foarte puţin despre razele cosmice în sine. În 1935, Anderson a pornit într-o nouă aventură cu camera cu ceaţă, de data aceasta cu studentul său doctorand, Seth Neddermeyer. Pentru a studia razele

cosmice la mare altitudine, Anderson şi Neddermeyer au mers pe vârful Pike din Colorado.

Planul lor presupunea să lucreze la o altitudine de 4 300 de metri, unde nivelul de oxigen este de doar 60% din cel de la nivelul mării, expunându-se astfel unui risc ridicat de rău de înălțime. Şi clima de pe vârful Pike este inospitalieră. Este zăpadă aproape tot anul, iar atunci când bate vântul, ceea ce se întâmplă frecvent, acesta poate sufla cu până la 160 de kilometri pe oră. Pentru a înrăutăți şi mai mult situația, Anderson şi Neddermeyer nu aveau încă aproape niciun ban.

Au reuşit să adune suficienți bani pentru a cumpăra un camion cu platformă, cu 400 de dolari, au montat experimentul uriaş pe spatele acestuia şi au pornit prin țară spre vârful Pike. Totul a decurs fără probleme până când au început să urce pe munte. Încărcat până la refuz şi cu un nivel scăzut de oxigen la altitudine, bătrânul camion nu a reuşit să urce pe munte. Au trebuit să fie salvați şi tractați.

Când au ajuns, în cele din urmă, pe vârf, au descoperit că nu era suficientă energie electrică pentru a-şi alimenta experimentele, aşa că au cumpărat o altă maşină şi au folosit motorul acesteia ca generator.

Când au reuşit, în sfârşit, să îşi monteze instalația, cei doi fizicieni au capturat imagini timp de şase săptămâni lungi. Apoi au fost nevoiți să developeze fotografiile din negative ca să-şi dea seama ce fotografiază. Pe muntele rece şi întunecat, ei au studiat imaginile pentru a căuta electroni, pozitroni, protoni şi particule alfa. De data aceasta, au continuat să găsească urme de particule care semănau foarte mult cu electronii, dar păreau să fie de aproximativ 400 de ori mai grele şi aveau atât versiuni încărcate pozitiv, cât şi negativ. Ştiau că aceste particule nu erau protoni – erau prea uşoare pentru aşa ceva – şi nu erau nici pozitronii

recent descoperiți. Nu puteau trage decât o singură concluzie: descoperiseră încă un tip nou de particule.

Acum numim aceste particule „miuoni”. Ele au exact aceleaşi proprietăți ca electronii (sau ca pozitronii pentru antimiuoni), dar au o masă mai mare. De asemenea, au o durată de viață limitată, dezintegrându-se în 2,2 milionimi de secundă şi transformându-se în electroni. [18] Atunci când razele cosmice de mare energie lovesc atmosfera, coliziunile lor creează ploi de noi particule, dintre care un număr foarte mare sunt miuoni. În fiecare minut din fiecare zi, aproximativ 10 000 de miuoni bombardează fiecare metru pătrat de pe suprafața Pământului (câțiva trec prin capul tău în fiecare minut) şi, cu toate acestea, nu putem să îi vedem, să îi simțim sau să îi detectăm în vreun alt mod fără echipament specializat. Sunt chiar mai mulți la altitudine decât la sol.

Spre deosebire de electroni, protoni şi alte particule care fuseseră observate, nu părea să existe niciun motiv practic aparent pentru care să existe miuoni. Aceştia sunt o particulă fundamentală, adică nu sunt compuşi din alte particule, dar nu fac parte din materia normală din jurul nostru. Când a aflat despre miuoni, un fizician de la acea vreme a răspuns: „Cine a comandat asta?”[1] Motivul existenței lor a fost şi este încă un mister total. Lumea subatomică avea o profunzime şi o complexitate pe care fizicienii abia începeau să le înțeleagă.

O idee despre ce era un miuon ilustrează stadiul în care se aflau cunoştințele teoretice în 1935. Un tânăr teoretician japonez pe nume Hideki Yukawa propusese în anul precedent că forța care ține nucleul unit – forța nucleară tare – se datorează unei particule cu o masă de aproximativ 200 de ori mai mare decât cea a electronului. Această particulă propusă a fost numită mezon, de la cuvântul grecesc pentru „intermediar”, deoarece a preconizat că ar

trebui să aibă o masă undeva între electron şi proton. [2] La început, unii fizicieni au crezut că miuonul era mezonul Yukawa, dar în curând şi-au dat seama că nu era posibil, deoarece mezonul ar trebui să interacţioneze puternic cu materia. Pe de altă parte, miuonul părea să treacă nestingherit prin foi de plumb şi alte materiale.

Obţinerea celui mai bun punct de observaţie şi a celor mai bune date a însemnat experimente extrem de aventuroase, care au forţat limitele tehnologiei. Mai târziu, experimentul camerei cu ceaţă al lui Anderson a fost chiar montat şi transportat într-un B-29 al Marinei, pentru a studia razele cosmice la mare altitudine[21], deşi problemele legate de motor au fost atât de mari, încât experimentul nu a produs prea multe rezultate utilizabile. Cu timpul, a devenit clar că particulele care alcătuiesc materia existenţei noastre de zi cu zi sunt doar o parte din lumea ascunsă din jurul nostru. Există mult, mult mai mult decât atât, care se află dincolo de acestea. Dacă descoperirea radiaţiilor schimbase viziunea asupra materiei, transformând-o dintr-o substanţă statică într-una în continuă schimbare, acum razele cosmice au început să spulbere ideea că atomii erau singurul tip de materie care există. Miuonul a fost doar începutul.

Ridicarea la altitudine pentru a detecta razele cosmice înainte ca acestea să interacţioneze cu atmosfera Pământului a devenit din ce în ce mai importantă, pe măsură ce cunoştinţele despre razele cosmice şi noile particule se înmulţeau.

După cum au arătat experimentele din B-29, pentru experimentele la mare altitudine, era nevoie de un tip de detector mai robust decât o cameră cu ceaţă.

Alţi fizicieni lucrau din greu la dezvoltarea unui alt tip de detector complementar. Spre deosebire de pistoanele şi camerele complexe implicate în camerele cu nori, aceste

emulsii nucleare erau detectoare pasive, fără părți mobile. Ele erau, în esență, un tip special de placă fotografică, cu cristale de halogenură de argint suspendate în gelatină, care sunt sensibile la trecerea particulelor încărcate. Emulsiile nucleare erau mai robuste decât camerele cu ceață şi mult mai uşor de lucrat cu ele – puteau fi lăsate nesupravegheate, acumulând date luni de zile încontinuu şi puteau fi chiar lansate la mare înălțime în atmosferă fără nicio grijă.

Metoda de utilizare a acestor emulsii pentru a studia razele cosmice a fost pusă la punct de fizicianul austriac Marietta Blau în timp ce lucra, neplătită, la prestigiosul Institut pentru cercetarea radiului din Viena. Ea îşi terminase doctoratul la Viena în 1919, lucrând sub îndrumarea lui Franz Exner şi Stephan Meyer, ambii având reputația de a sprijini femeile din lumea ştiinței. [22] Îşi începuse o carieră promițătoare la Universitatea din Frankfurt, predând radiologie studenților la medicină şi publicând cercetări privind emulsiile fotografice pentru raze X şi lumină vizibilă. După ce s-a întors la Viena în 1923 pentru a avea grijă de mama sa bolnavă, şi-a asumat postul neplătit la institut, deoarece nu găsea nimic altceva, şi s-a întreținut cu burse şi cu câteva ore de predare la facultate.

Cercetările lui Blau la Viena au combinat ceea ce învățase la Frankfurt cu cunoştințele sale din domeniul emergent al ştiinței nucleare şi au arătat că emulsiile fotografice puteau fi folosite pentru a studia razele cosmice. Ea a colaborat cu producătorul de emulsii Ilford pentru a produce versiuni extrem de groase, care erau mai bune pentru înregistrarea urmelor de particule. Împreună cu fosta sa studentă Hertha Wembacher, a condus un experiment timp de patru luni la stația de cercetare Hafelekar din Alpii austrieci. Rezultatele au arătat o nouă descoperire remarcabilă a „stelelor de dezintegrare”, rămase în urma coliziunii razelor cosmice cu

nucleele grele din emulsie, ceea ce făcea ca acestea să explodeze în rețele de urme de particule în formă de stea.

Din păcate, munca ei a fost întreruptă foarte curând. Blau era evreică şi, în ziua anexării Austriei din 1938, a fugit din Austria, plecând să locuiască împreună cu alt pionier din domeniul chimiei, Ellen Gladisch, în Oslo, mutându-se mai târziu în Mexic şi apoi în Statele Unite, cu ajutorul lui Einstein. Între timp, colega ei de laborator Wembacher, membră a Partidului Nazist, a continuat să publice rezultatele lor, dar a eliminat orice referire la Blau.

La celălalt capăt al lumii, tehnica lui Blau a fost preluată de o altă femeie, Bibha Chowdhuri, o cercetătoare indiană care a absolvit masteratul în fizică în 1934.

Aceasta era încă o realizare rară pentru o femeie oriunde în lume, inclusiv în India. Când Chowdhuri a cerut prima dată să se alăture grupului de cercetare al lui D.M. Bose, i s-a spus că acesta nu avea proiecte potrivite pentru femei. Ea a insistat şi, din 1939 până în 1942, Chowdhuri şi Bose au efectuat studii asupra razelor cosmice lăsând emulsii fotografice timp de luni de zile la altitudini mari în Darjeeling, Sandakhpu şi în alte locuri. Emulsiile trebuiau să fie developate şi prelucrate cu multă migală, ceea ce putea dura luni de zile de lucru cu un microscop. Chowdhuri şi Bose au găsit dovezi ale existenței a două noi particule subatomice cu mase de aproximativ 200 şi 300 de ori mai mari decât masa electronului. Pe prima dintre acestea, miuonul, am văzut-o deja, dar cea de-a doua este nouă în povestea noastră: pionul. Există trei tipuri de pioni (pozitivi, negativi şi neutri), la care vom reveni mai în detaliu în capitolele următoare, pe măsură ce vom analiza noile particule şi forțele prin care acestea interacționează.

Deşi a fost prima care a recunoscut particula, contribuțiile lui Chowdhuri nu au fost recunoscute de comunitatea ştiințifică. În 1947, fizicianul britanic Cecil

Powell (împreună cu Giuseppe Occhialini) a folosit aceeaşi metodă, deşi cu emulsii superioare, pentru a demonstra existența pionului. În 1950, comitetul pentru premiul Nobel i-a acordat lui Powell premiul pentru fizică pentru „dezvoltarea metodei fotografice de studiere a proceselor nucleare şi pentru descoperirile sale privind mezonii făcute cu această metodă", [23] însă Chowdhuri nu a primit o nominalizare la premiul Nobel. Motivul pentru care experimentul lui Chowdhuri nu a fost luat în considerare de Comitetul pentru premiul Nobel ca fiind descoperirea cheie a pionului pare a fi acela că emulsiile pe care le-a folosit nu au avut o calitate suficientă pentru o descoperire complet neambiguă, fapt cauzat de problemele de aprovizionare din timpul celui de-al Doilea Război Mondial. [24] Dar este nevoie doar de o căutare rapidă pentru a găsi referința lui Powell la munca ei într-una dintre lucrările sale de referință[25] şi recunoaşterea precedenței muncii ei în cartea sa despre particulele elementare.[2]

Blau a fost nominalizată de câteva ori la premiul Nobel pentru fizică pentru inventarea tehnicii emulsiei fotografice, pe care comunitatea – inclusiv Powell – a recunoscut-o ca fiind esențială pentru progresele obținute în înțelegerea razelor cosmice de la mare altitudine. Invenția ei, produsă în cantități mari de Ilford şi Kodak, a dus la utilizarea pe scară largă a emulsiilor fotografice şi a fost esențială pentru descoperirea pionilor de către Powell. Cu toate acestea, relatările tendențioase despre contribuțiile sale într-o evaluare vădit negativă a unui membru al Comitetului pentru premiul Nobel[27] au făcut ca Blau să fie şi ea trecută cu vederea.

Blau, Chowdhuri şi altele nu sunt anomalii. Au existat atât de multe incidente în care activitatea femeilor din domeniul ştiinței a fost nerecunoscută sau ignorată de-a lungul istoriei, încât acest efect are chiar propriul său

nume: Efectul Matilda. Acesta a fost introdus în 1993 de istoricul Margaret Rossiter[28], după numele luptătoarei americane pentru dreptul femeii de a vota, Matilda J. Gage, care a formulat pentru prima dată acest fenomen la sfârşitul secolului al XIX-lea cu privire la femeile inovatoare. Rossiter a sperat că, dându-i un nume efectului, ar putea încuraja istoricii, sociologii şi – am putea spera – oamenii de ştiinţă înşişi să includă mai multe poveşti despre femeile din domeniul ştiinţei uitate în mod sistematic sau poate să acţioneze pentru a scoate la iveală mai multe dintre ele.

*

În următoarele două decenii, echipe de fizicieni din întreaga lume au continuat să studieze razele cosmice cu ajutorul camerelor cu ceaţă şi al emulsiilor fotografice, descoperindu-le încet-încet proprietăţile. Se ştie că razele cosmice au origini extraterestre şi, cu toate acestea, chiar şi acum, după aproape un secol, nu înţelegem pe deplin cum se formează acestea. Informaţiile furnizate de Telescopul Spaţial Fermi demonstrează că acestea se pot forma în supernove şi că pot fi amplificate la energii ridicate în câmpurile gravitaţionale din jurul găurilor negre. Indiferent de felul în care se formează, ştim că acestea sunt alcătuite, în principal, din protoni cu energie foarte mare. Aceşti protoni coboară prin atmosfera Pământului şi se ciocnesc cu atomii din aer, producând o avalanşă de alte particule: miuonii şi pozitronii sunt aceste particule „secundare”.

Aproape toţi protonii şi multe dintre particulele secundare fie interacţionează cu aerul, fie se dezintegrează (miuonii au o durată de viaţă de 2,2 microsecunde[2]) înainte de a ajunge la sol, motiv pentru care primii pionieri au detectat mai puţine raze cosmice la nivelul solului.

Razele cosmice transportă volume enorme de energie, atât de mari, încât sparg cu uşurinţă atomii. Dacă acest lucru se întâmplă în locul potrivit, aşa cum a discernut prima dată

Marietta Blau, oamenii de ştiinţă pot observa fragmentele rezultate în urma acestor coliziuni şi pot învăţa despre natura atomului şi a altor particule. În prezent, ştim că multe raze cosmice au călătorit ani-lumină prin Univers, aducând cu ele informaţii despre ceea ce se află acolo, în sisteme astronomice precum stele neutronice, supernove, quasari şi găuri negre.

Aici, pe Pământ, nu conştientizăm deloc ploaia de raze cosmice şi, cu toate acestea, aproximativ 100 de raze cosmice trec prin corpul nostru în fiecare secundă. Un miliard de miliarde de raze cosmice lovesc Pământul în fiecare secundă, ceea ce reprezintă o putere de peste un miliard de waţi. Dacă am reuşi cumva să valorificăm această putere şi să o adunăm în termeni de kW (kilowaţi – o maşină de spălat rufe funcţionează la o putere de aproximativ 1 kW pe parcursul unui ciclu de o oră), aceste raze cumulează o putere totală de 3,6 miliarde de kW în fiecare oră sau aproximativ 32 000 TWh (terawaţi-oră) în fiecare an – cu aproximativ 50% mai mult decât consumul de energie electrică al întregii planete în 2018.

Pe măsură ce au fost descoperite diferite particule şi forţe, un lucru a rămas adevărat: oamenii de ştiinţă care le descoperă cred aproape invariabil că acestea nu vor avea nicio utilitate practică. La fel cum J.J. Thomson nu a putut vedea o utilitate pentru electron, a fost nevoie de mult timp pentru a descoperi valoarea razelor cosmice. Acum, la mai bine de un secol de la prima descoperire a razelor cosmice şi la aproape 80 de ani de la descoperirea miuonului, progresele tehnologice au dus la o înţelegere a felului în care razele cosmice interacţionează cu Pământul şi la aplicaţii reale atât pentru pozitroni, cât şi pentru miuoni.

Razele cosmice ne pot spune mai multe despre istoria vieţii pe Pământ. Efectul razelor cosmice asupra azotului din atmosferă creează un izotop radioactiv al carbonului, numit

carbon-14. Acesta se combină cu oxigenul pentru a forma dioxid de carbon, pe care plantele îl absorb prin fotosinteză. Animalele şi oamenii îngerează apoi aceste plante, absorbind în cea mai mare parte carbonul-12 obişnuit, dar şi o cantitate mică de carbon-14. În anii 1940, Willard Libby şi-a dat seama că, prin compararea cantității de carbon-14 cu cea de carbon-12 dintr-o mostră de lemn, oase sau alte materiale organice, se poate calcula cu cât timp în urmă a murit un animal sau o plantă, deoarece carbonul-14 se dezintegrează cu un timp de înjumătățire de 5 730 de ani. Datarea cu radiocarbon, despre care vom discuta mai mult în capitolul următor, a avut un impact profund asupra arheologiei, făcând posibilă crearea unei cronologii globale pe care pot fi plasate evenimentele din diferite regiuni şi continente. Ca urmare, acum avem o preistorie nu doar a regiunilor individuale, ci a întregii lumi.

De asemenea, interacțiunea razelor cosmice ne poate oferi informații despre istoria climei Pământului şi despre schimbările sale de-a lungul timpului geologic, în special pentru a determina influența Soarelui. Soarele nu este sursa de raze cosmice de mare energie – ştim acest lucru de peste un secol, de când Victor Hess a zburat cu balonul său în timpul unei eclipse solare –, dar Soarele influențează numărul de raze cosmice care ajung pe Pământ. Acum ştim că Soarele emană încontinuu material, numit vânt solar, creând heliosfera, o bulă vastă în spațiu care înconjoară planetele din sistemul solar. Când activitatea Soarelui este liniştită, heliosfera este mai slabă şi lasă să pătrundă în sistemul solar mai multe raze cosmice, care se ciocnesc apoi cu atomii din atmosfera Pământului.

Atunci când protonii razelor cosmice lovesc oxigenul din atmosferă, pot crea doi izotopi de beriliu: beriliu-7 şi beriliu-10, care ajung să se depună pe Pământ.

Beriliul-10 are un timp de înjumătățire de 1,4 milioane de ani şi se dezintegrează în bor-10, iar beriliul-7 se dezintegrează în doar 53 de zile în litiu-7. Aceşti izotopi se acumulează în straturile de gheață din Antarctica şi Groenlanda, iar forarea în gheață pentru prelevarea de carote oferă o metodă bună de a le urmări în timp. Pentru fiecare strat, raportul dintre cei doi izotopi determină cu cât timp în urmă s-au format în atmosferă, iar cantitatea de beriliu-10 ne spune cât de activă a fost heliosfera şi, prin urmare, Soarele. Folosind această metodă, razele cosmice ne pot spune dacă activitatea solară este într-adevăr legată de schimbările climatice de pe Pământ.

De asemenea, particulele descoperite în urma studiului razelor cosmice au fost folosite în mod transformator în viața de zi cu zi. Pozitronii, care sunt emişi în mod natural în unele procese de dezintegrare radioactivă, sunt utilizați pentru a detecta şi înțelege bolile prin tehnica tomografiei prin emisie de pozitroni (PET).

Aparatele care efectuează aceste scanări medicale detaliate pot fi găsite în majoritatea spitalelor mari şi vom afla mai multe despre această aplicație într-un capitol ulterior.

De departe, cea mai neaşteptată particulă care şi-a găsit o aplicație este miuonul.

Miuonii au o caracteristică unică, şi anume că pot călători mult prin obiecte dense – un perete de plumb sau câteva sute de metri de stâncă nu reprezintă un obstacol pentru ei. Odată cu dezvoltarea tehnologiei, fizicienii şi-au dat seama că, dacă ar putea instala detectoarele în mod corespunzător, ar putea folosi miuonii din razele cosmice ca pe un imens scaner cu raze X. Deoarece se pot deplasa prin obiecte masive, pot face lucruri care pentru razele X sunt pur şi simplu imposibile.

Miuonii au fost utilizați pentru prima dată nu în Statele Unite sau în Europa, unde au fost descoperiți şi studiați, ci, oarecum surprinzător, în Australia. În anii 1950, un fizician pe nume E.P. George a folosit miuoni de raze cosmice pentru a măsura densitatea rocii deasupra unui nou tunel pentru enormul sistem hidroelectric al țării, Snowy Hydro. Cu ajutorul unui contor Geiger, a reuşit să detecteze miuoni de raze cosmice în tunel şi la suprafață, iar apoi a folosit rezultatul pentru a măsura adâncimea şi densitatea solului dintre ele. Dar contorul Geiger pe care l-a folosit nu a oferit nicio informație despre direcția din care veneau miuonii, astfel încât nu a fost posibil să se realizeze niciun fel de imagine.

În anii 1960, Luis Alvarez (care era şi directorul de cercetare fondator al CERN şi despre care vom vorbi mai târziu în povestea noastră) a colaborat cu arheologii şi a utilizat miuonii pentru a obține imagini din interiorul piramidelor, ceea ce a dus, în cele din urmă, în 2010, la proiectul „ScanPyramids" al Universității din Cairo şi al Institutului francez Heritage Innovation Preservation (HIP). Dacă arheologii credeau că au aflat tot ce era de ştiut despre Marea Piramidă a lui Kheops (Khufu) din Giza, în 2017, echipa ScanPyramids a plasat detectoare de miuoni în jurul piramidei, precum şi în interiorul Camerei Reginei din interiorul acesteia, şi a ajuns la o concluzie surprinzătoare: în interiorul structurii există o încăpere ascunsă, deconectată de toate celelalte. Aceasta a fost prima încăpere nouă descoperită de la cele din secolul al XIX-lea.[3]

Descoperirile lor reprezintă un progres în înțelegerea structurii interne a piramidei şi un posibil pas înainte către a înțelege în sfârşit misterul construcției acesteia.

În comparație cu electronii sau cu razele X, miuonii nu interacționează foarte mult în timpul deplasării prin materie, astfel încât sunt mai puțin predispuşi la dispersie şi, în

general, traiectoriile lor sunt linii drepte. Această lipsă de dispersie le oferă un avantaj surprinzător. Plasarea detectoarelor de o parte şi de alta a unui obiect şi corelarea trecerii unui miuon înainte şi după ce traversează obiectul produce imagini cu o rezoluție surprinzător de bună, chiar dacă nu sunt mulți. Acest lucru se datorează certitudinii că aceştia s-au deplasat în linii drepte, în comparație cu razele X, care vor avea întotdeauna traiectorii mult mai dispersate. Primele imagini realizate în acest fel au fost obținute în urma unor cercetări din Statele Unite, iar o serie de dispozitive de detecție mai noi şi mai bune ne-au oferit posibilitatea de a vedea interiorul unor volume mari şi închise cu o tehnică cunoscută sub numele de tomografie cu miuoni sau „miuografie", care funcționează ca un scaner tridimensional cu raze X, dar la o scară enormă.

În anii 2000, cercetarea şi aplicațiile în acest domeniu au crescut semnificativ.

În 2006, o echipă japoneză condusă de profesorul Hiroyuki Tanaka de la Universitatea din Tokyo a fost prima care a folosit miuoni pentru a obține o imagine a structurii interne a unui vulcan, Muntele Asama din Japonia. Geologii au adoptat cu entuziasm miuografia, iar alți vulcani, printre care Etna şi Vezuviu, au fost supuşi imagisticii pentru a cartografia canalele de lavă şi pentru a preconiza erupțiile. Acum se poate efectua imagistică sensibilă la timp, ceea ce permite vizualizarea magmei în mişcare.

Odată cu maturizarea tehnologiei, miuografia a fost comercializată, deseori prin înființarea de companii derivate din laboratoarele în care s-au realizat cercetările.

Aceste companii au găsit aplicații vaste şi fascinante ale imagisticii cu ajutorul miuonilor, producând vizualizări tridimensionale de la nave container întregi până la infrastructuri critice precum centralele electrice.

Sistemele de detectare cu miuoni se află pe piață și pentru agențiile de securitate națională și pentru aplicații miniere, identificând depozite minerale dense, peșteri și tuneluri sau alte structuri din pământ. Miuonii pot fi folosiți pentru geofizică, cartografierea apelor subterane și explorarea mineralelor. În domeniul securității nucleare, unul dintre primele grupuri care au sosit la fața locului după tsunamiul din 2010 din Japonia a fost o echipă care a folosit miuoni pentru a analiza starea miezurilor reactoarelor nucleare de la Fukushima Daichi și pentru a localiza combustibilul nuclear, ceea ce a însemnat mai puține surprize în ceea ce privește curățarea și gestionarea incidentului. Nici o altă tehnică nu poate realiza o astfel de imagine. Alte grupuri analizează posibilitatea de a utiliza aceeași abordare pentru a inspecta instalațiile de depozitare a deșeurilor nucleare.

Abia acum începem să vedem toate beneficiile miuonilor care călătoresc nevăzuți spre Pământ în fiecare zi. În viitor, miuonii ar putea fi folosiți pentru a monitoriza orice, de la integritatea structurală a podurilor până la mișcările scoarței terestre. [31]

Chiar dacă fizicienii de astăzi nu mai folosesc camerele cu ceață, aceste detectoare au dat startul unei investigații remarcabile asupra naturii razelor cosmice și au permis descoperirea unei serii de noi particule. Camera cu ceață a început ca un dispozitiv curios care urmărea să recreeze efectele luminii asupra norilor și a sfârșit prin a fi instrumentul de care fizicienii aveau nevoie pentru a vedea lumea invizibilă a particulelor. Pentru prima dată, fizicienii au putut vedea cum particulele trec prin detectoarele lor și au putut capta fotografii ce arătau particulele care se creează și dispar.

Înainte de camera cu ceață, fizicienii credeau că singurele particule erau subatomice – în interiorul atomului –, dar

acum ştiau că există particule care nu joacă niciun rol în materia pe care o găsim în jurul nostru. Provocarea a fost să încerce să-şi dea seama dacă există şi mai multe particule în natură şi cum se potrivesc toate aceste piese împreună.

Cea mai mare problemă era că fizicienii nu aveau încă niciun control asupra a ceea ce observau. Pentru toate experimentele lor, se bazau pe surse naturale de particule, de la substanțe radioactive la miuoni de raze cosmice. Dar, pentru a pătrunde mai adânc în atom şi pentru a înțelege noile particule descoperite în razele cosmice, au fost nevoiți să dezvolte tehnici de manipulare a materiei la cea mai mică scară. Trebuiau să imite razele cosmice în laborator.

Capitolul 5

Primele acceleratoare de particule: divizarea atomului

Charles Bennett a cumpărat vioara cu 80 de dolari de la un târg de vechituri din Rochester, New York. Când a aruncat o privire în interiorul găurii în formă de f sculptate în partea din față a instrumentului, a văzut o etichetă galbenă distinctivă pe care scria „Stradivarius". Poveştile abundă despre astfel de descoperiri din piața de vechituri: antichități ieftine care s-au dovedit a valora sute de mii de dolari. În mod ciudat, Bennett nu s-a gândit să facă o evaluare profesională a vioarei, dar putem presupune că toți experții relevanți se aflau în Europa, iar transportul era mai mult decât îşi putea permite un student absolvent fără bani în 1977. Nu a durat mult până când şi-a dat seama că, pentru a cunoaşte adevărata valoare a vioarei, va trebui să o distrugă. Bennett era blocat. Poate că nu era un virtuoz, dar nu era dispus să transforme instrumentul într-un obiect fără valoare. S-a întors la activitatea sa de doctorand în fizică.

Pentru a şti dacă era un Stradivarius adevărat, ar fi trebuit să verifice vârsta instrumentului, iar Bennett ştia despre razele cosmice şi despre tehnica de datare cu carbon din pregătirea sa în fizică. Stradivari folosea, de obicei, o combinaţie de molid, salcie şi arţar. Dacă Bennett presupunea că arborii au fost tăiaţi cu puţin timp înainte de fabricarea instrumentului, putea folosi datarea cu carbon pentru a compara cantitatea de carbon-12 stabil cu cea de carbon-14 radioactiv rămasă în lemn şi verifica dacă vioara sa era într-adevăr o capodoperă de la începutul secolului al XVIII-lea. Discutând despre acest lucru cu îndrumătorul său de doctorat, Harry Gove de la Universitatea Rochester, au calculat că la fiecare mie de miliarde de atomi de carbon-12 ar exista doar un singur atom de carbon-14. O mostră conţinând un gram de carbon s-ar dezintegra şi ar da doar un electron de numărat aproximativ o dată la 5 secunde. Au luat în considerare posibilitatea de a ciopli mici aşchii din vioară, de a păstra instrumentul intact şi de a încerca să măsoare ceva, dar coeficientul de numărare ar fi mult prea mic.

Pentru ca metoda să funcţioneze, ar fi trebuit să taie o bucată uriaşă din lemn.

Câteva săptămâni mai târziu, nişte colegi – care nu aveau nicio idee despre enigma vioarei – au venit în vizită la Gove cu ideea de a folosi laboratorul său de fizică nucleară pentru un experiment de măsurare a cantităţii de carbon-14 pe un eşantion mic. Cei doi colegi – Albert Litherland şi Ken Purser – lucraseră amândoi cu Gove la experimente de fizică nucleară în perioada lor anterioară şi amândoi veniseră independent cu ideea de a folosi un accelerator pentru datarea cu carbon. O discuţie cu Gove la o conferinţă, cu o lună mai devreme, le stimulase vizita: Gove avea echipamentul potrivit şi cunoştinţele necesare pentru a le pune în practică ideile. Acceleratorul de particule de la

Universitatea Rochester, care eclipsa orice alt echipament, putea lua mostre mici de material şi crea fascicule de atomi constituenți. Gove nu mai încercase niciodată să separe diferiții izotopi de carbon, dar dacă experimentul propus funcționa, şi-a dat seama că ar putea deschide o cale pentru a stabili vechimea viorii fără a o distruge. Gove a fost de acord cu experimentul cu condiția ca Bennett să facă parte din echipa de colaboratori.

Pentru a afla dacă Bennett va realiza ce şi-a propus, trebuie să înțelegem cum funcționează acceleratorul de particule pe care îl foloseau. Până acum, toate experimentele pe care le-am văzut au fost realizate cu echipamente destul de simple şi cu substanțe radioactive găsite în natură. În acest capitol, vom începe să explorăm de ce a fost brusc nevoie de echipamente de mărimea unui elefant pentru a înțelege cei mai mici constituenți ai naturii. Până la mijlocul anilor 1970, când Bennett şi Gove s-au confruntat cu dilema viorii, aceste aparate erau de zeci de ani caii de bătaie ai fizicienilor nucleari şi erau chiar folosite în multe domenii ale ştiinței şi industriei în moduri cu totul neprevăzute. Dar toate acestea s-au întâmplat la mulți ani după ce au fost inventate. În anii 1920, la Laboratorul Cavendish din Cambridge, călătoria către acceleratoarele de particule a început cu una dintre cele mai dificile întrebări despre natura materiei: ce se află în interiorul nucleului atomic?

Rutherford preluase conducerea laboratorului Cavendish de la J.J. Thomson în 1919, iar de atunci, în laboratorul său, sentimentul general era acela de a experimenta ca de obicei. Dar sub această suprafață se ascundea o boare de frustrare. În 1911, Rutherford descrisese existența nucleului şi apoi se dedicase înțelegerii acestei noi inimi a materiei, aşteptând să obțină succese rapide.

Rutherford se cam obişnuise să-şi vadă cu regularitate numele pe prima pagină a ziarelor, făcând descoperire după descoperire. Dar, acum, nu mai făcuse o descoperire importantă de aproape un deceniu.

Experimentul lui Geiger şi Marsden, în urma căruia fusese descoperit nucleul atomic, îl făcuse pe Rutherford expert mondial în materie de atomi. La începutul anilor 1920, Rutherford îşi putea pune laolaltă cunoştinţele cu cele ale chimiştilor, care reuşiseră să distingă, cu o oarecare dificultate, nouăzeci de tipuri diferite de atomi, pe baza masei acestora. Cu timpul, s-a dovedit că masele atomice ale tuturor elementelor păreau a fi multipli direcţi ai greutăţii celui mai uşor element, hidrogenul. Heliul era de patru ori mai greu, litiul de şase ori, carbonul de douăsprezece ori şi oxigenul de şaisprezece ori mai greu. Aceasta nu putea fi o coincidenţă. Mai mult, toată această masă nu provenea de la electroni, la cât de mici şi de uşori erau aceştia. Nucleul trebuia să fie cheia pentru a înţelege adevărata natură a materiei. Acest tipar al maselor a sugerat că nucleul însuşi ar putea fi compus din alte elemente constituente.

Singurul lucru pe care Rutherford îl ştia cu siguranţă era că în interiorul acestuia se aflau protoni. În timpul Primului Război Mondial, el a efectuat un experiment în care a lansat particule alfa în azot gazos, producând nuclee de hidrogen. În 1917, a reuşit să demonstreze că toţi atomii păreau să conţină nuclee de hidrogen – particule încărcate pozitiv, care au fost numite ulterior protoni.

Problema era că nucleul atomic pentru elementele mai grele decât hidrogenul nu putea fi compus numai din protoni. Protonii încărcaţi pozitiv s-ar fi îndepărtat unul de celălalt, aşa că întrebarea era: ce ţine nucleul unit sub o asemenea forţă „de respingere”? Rutherford s-a gândit că era posibil ca o particulă neutră să îl ţină cumva laolaltă. Ca

urmare, un atom ca heliul, cu o masă de patru ori mai mare decât cea a hidrogenului, dar cu o sarcină electrică maximă de doi (după ce i-a eliminat cei doi electroni), ar putea să nu conțină patru protoni, aşa cum presupunea el. S-ar putea să existe doar doi protoni şi două alte particule necunoscute la momentul respectiv, la fel de grele ca protonul, dar fără sarcină electrică. Au numit această particulă neutron. Rutherford şi echipa sa au căutat neutronul, dar anii au trecut şi nu au găsit nimic.

Imaginează-ți un ego de mărimea celui pe care îl avea Rutherford în acest moment. Era un băiat de fermier din Noua Zeelandă care câştigase premiul Nobel în 1908, fusese făcut cavaler în 1914 şi acum era directorul celui mai important laborator de fizică din lume. Era aproape o chestiune de mândrie că el ar fi trebuit să fie cel care să răspundă la următoarea mare întrebare. În acel moment, razele cosmice fuseseră descoperite, dar nu şi miuonul şi pozitronul.

Rutherford se concentra doar pe nucleul atomic şi considera că nu exista decât o singură cale de a face progrese: trebuiau să spargă nucleul pentru a descoperi ce se afla înăuntru. Nu voia doar să cioplească câte un proton. Voia să despartă întregul nucleu.

Instrumentele aflate la dispoziția lui Rutherford erau aceleaşi ca întotdeauna: o sursă de particule alfa, o țintă şi un ecran de scintilație. Particulele erau emise de o sursă de radiu sau poloniu, care era închisă într-un tub metalic cu o fantă la capăt, pentru a forma un fel de tun de particule alfa. În timp ce acest lucru asigura controlul asupra direcției particulelor, majoritatea particulelor alfa se izbeau de pereții tubului şi se pierdeau, lăsând puține particule prețioase cu care să se lucreze.

Cu toate acestea, studenții şi cercetătorii harnici de la Cavendish au continuat cu un şir neîncetat de experimente, în speranța că nucleul îşi va dezvălui secretele.

Ei trimiteau cu grijă particule alfa prin diferite gaze, le puneau în contact cu folii şi plăci metalice şi le bombardau pe aproape orice le pica în mână, în speranța că vor vedea o reacție. Câteva elemente uşoare au prezentat acelaşi rezultat ca azotul – ejectând câțiva protoni –, dar elementele mai grele nu au produs niciun rezultat. Nu a fost găsit niciun neutron şi nu a apărut nimic surprinzător sau spectaculos. Nucleul a rămas o enigmă.

Experimentatorii de la Cavendish au rămas blocați cu câteva particule alfa nesemnificative. Nu exista nicio modalitate de a controla parametrii experimentali, deoarece particulele alfa ieşeau întotdeauna din dezintegrarea radioactivă a sursei cu aceeaşi energie, iar ei nu îşi dăduseră încă seama cum să producă altceva decât radiațiile alfa care apăreau în mod natural. Colac peste pupăză, sursele de particule alfa precum radiul erau slabe şi deveneau din ce în ce mai slabe pe măsură ce se dezintegrau în timp. Unele preparate se dezintegrau în doar o jumătate de oră. Ca instrumente de explorare a nucleului atomului, acestea începeau să pară slabe.

Singurul lucru pe care îl puteau controla era eroarea din experimentele lor.

Pentru a se asigura că vor profita la maximum de particulele nesigure, grupul a elaborat o metodă complexă pentru a face observații fiabile. Un experiment tipic avea nevoie de trei cercetători. Doi dintre ei stăteau într-o cameră întunecată pentru a-şi lăsa ochii să se adapteze. A treia persoană termina de pregătit aparatul, apoi închidea obloanele şi perdelele când totul era gata, iar experimentul începea. Cei doi cercetători se uitau pe rând printr-un microscop îndreptat spre ecranul de scintilație, fiecare

dintre ei urmărind timp de aproximativ un minut, marcând orice scânteiere pe o rolă de hârtie care se derula. După aproximativ o oră de acest du-te-vino, ochii lor oboseau şi erau înlocuiţi de altă echipă. Era o muncă anevoioasă, dar necesară, o evoluţie a aceleiaşi tehnici pe care Marsden şi Geiger o folosiseră cu mulţi ani în urmă.

Toţi noii studenţi cercetători de la Cavendish urmau să fie instruiţi şi testaţi în ceea ce priveşte numărarea particulelor la sosirea lor, sub îndrumarea vechiului şi meticulosului coleg al lui Rutherford, James Chadwick. Pe lângă faptul că îşi coordona propriile cercetări detaliate, la care vom reveni mai târziu, Chadwick supraveghea pregătirea studenţilor în laboratorul „creşă". Când erau pregătiţi, aceştia vorbeau cu Rutherford, care le recomanda o direcţie pentru un proiect de cercetare.

Studenţii îşi construiau experimentele de la zero. Doar obţinerea pieselor pentru experimente din depozitele de la Cavendish era o provocare, ceea ce însemna că trebuiau să fie inventivi şi hotărâţi. Administratorul atelierului, un bărbat pe nume Lincoln, păzea îndeaproape resursele laboratorului. Măsura bucăţi de sârmă în loc să le dea o rolă şi număra piuliţe şi şuruburi individuale. Legenda spune că unui student care căuta o bucată de ţeavă de oţel i s-a oferit un bomfaier şi a fost îndrumat spre bicicletele din curte. În realitate, zgârcenia venea de sus, de la Rutherford, care prefera clar să impresioneze pe toată lumea cu un experiment ieftin, dar ingenios, decât să fie nevoit să justifice continuu cheltuielile sau să cerşească bani.

Cu toată ingeniozitatea, metodele atente şi rezistenţa lor, au continuat să nu găsească nimic. O soluţie era ca cei de la Cavendish să achiziţioneze mai mult radiu. Dar materialul preţios nu se găsea aşa de uşor, iar zgârcenia lui Rutherford a anulat această idee. Echipa ştia despre concurenţă că se bucura de avantajul de a avea mult mai mult radiu cu care

să lucreze. Marie Curie primise cadou o cantitate enormă de un gram întreg de radiu de la femeile din Statele Unite, ca omagiu pentru turneul ei acolo, iar fiica ei, Irène Curie, fiziciană şi ea, şi Frédéric Joliot îl foloseau din plin la Paris. Numeroase alte laboratoare din Europa încercau şi ele să facă progrese, dar echipa de la Cambridge a continuat să îşi menţină avantajul prin muncă asiduă. Asta până în 1924, când statutul lor de prim laborator din lume a fost pus sub semnul întrebării.

Un grup de cercetare din Viena a distribuit o lucrare care părea să demonstreze că dezintegrarea atomilor era uşoară. Acest grup încerca exact aceleaşi experimente ca echipa de la Cavendish şi producea rezultate uimitor de diferite.

Moralul s-a prăbuşit la Cambridge. Sub îndrumarea lui Chadwick, toţi studenţii numărători au fost reantrenaţi şi retestaţi înainte de a încerca să reproducă rezultatele echipei din Viena. Dar, pur şi simplu, nu au putut. Între cele două grupuri a apărut un dezacord respectuos, dar puternic, iar, în cele din urmă, Chadwick a mers la Viena pentru a afla ce s-a întâmplat.

La Viena, cercetătorii au angajat femei special pentru sarcina de a număra, dar, spre deosebire de Cambridge, le spuneau numărătoarelor cam ce căutau înainte de începerea experimentului. Şi, ca prin minune, numărătoarele găseau ce li se spusese. Repetând experimentele fără această intervenţie, grupul de la Viena nu a reuşit să reproducă rezultatele anterioare, iar datele lor au fost asemănătoare cu cele de la Cambridge.

Lăsând în urmă acest episod, Rutherford şi Chadwick au fost nevoiţi să recunoască un adevăr care devenea încet-încet clar: dependenţa lor de surse alfa slabe le frâna progresul ştiinţific. Ei ştiau că mai erau descoperiri de făcut.

Pentru a ajunge acolo, experimentele aveau nevoie de o schimbare radicală.

Aveau nevoie de o modalitate de a produce protoni, particule alfa şi alte particule la discreție, cu energii diferite. Dar o astfel de metodă nu exista încă. Trebuiau să inventeze singuri tehnologia.

Ernest Walton îşi terminase pregătirea şi acum era timpul să se ocupe de un proiect de cercetare propriu. Fiu de preot, Walton era un fizician irlandez în vârstă de 24 de ani care sosise de curând la Cambridge pentru doctorat, susținut de acelaşi sistem de burse[1] care îl ajutase cândva pe Rutherford să se mute din Noua Zeelandă în Marea Britanie. Walton excela atât la matematică, cât şi la fizică şi obținuse o diplomă de primă clasă la ambele materii în Dublin.

Deoarece îi plăcea şi să construiască lucruri, fizica experimentală părea să i se potrivească perfect. Şi-a luat inima în dinți şi i-a prezentat ideea lui Rutherford.

Voia să încerce să construiască o maşinărie care să accelereze particule încărcate.

Deşi Walton nu ştia, cu două zile mai devreme, Rutherford se aflase în Londra, unde ținuse un discurs entuziast în fața Societății Regale, în noul său rol de preşedinte al acesteia. În fața acestei adunări respectabile, el a declarat cea mai importantă şi mai presantă nevoie a ştiinței, aşa cum era în acel an, în 1927.

Dorea să găsească o modalitate de a crea „un volum abundent de atomi şi electroni care să aibă o energie individuală mult mai mare decât cea a particulelor alfa şi beta”. [2] Dacă s-ar putea realiza un astfel de lucru, un curent de fascicul de doar un miliamper ar putea produce mai multe particule decât 100 de kilograme de radiu, o cantitate uluitoare. Avea nevoie de o modalitate de a extrage particulele fundamentale şi de a le lansa cu o energie mare spre un atom.

Îşi dorea exact ceea ce Walton tocmai îi prezentase: un accelerator de particule.

Impresionat de curajul tânărului irlandez, Rutherford a fost de acord şi l-a condus imediat la parterul unui laborator unde putea găsi spaţiu de lucru.

Laboratorul pe care îl alesese era un spaţiu cu pereţi de cărămidă la subsol, cu un tavan înalt. Acesta conţinea trei mese de lucru şi găzduia deja alţi doi cercetători, Thomas Allibone şi John Cockcroft. Allibone, sau „Bones", îi făcuse recent o prezentare similară lui Rutherford şi încerca deja să folosească bobine Tesla de înaltă tensiune pentru a accelera electronii la viteze mari. Rutherford trebuie să se fi gândit că o competiţie amicală i-ar ajuta pe ambii tineri cercetători.

Celălalt cercetător era John Cockcroft, care, la treizeci de ani, era cu câţiva ani mai în vârstă decât ceilalţi, deoarece urmase un drum destul de ocolit până la Laboratorul Cavendish. Cockcroft era cunoscut pentru cât era de descurcăreţ, iar colegii săi comentau în mod regulat despre felul în care gestiona cu uşurinţă volumul de muncă a aproximativ două slujbe şi jumătate cu normă întreagă. Îşi coordona propriile cercetări şi, în acelaşi timp, ajuta la gestionarea experimentelor enorme din laboratorul vecin al lui Peter Kapitza, care încerca să creeze câmpuri magnetice extrem de puternice. Încercând să îşi împartă timpul între diferite sarcini, îşi mâzgălea mementouri în mica sa agendă neagră de buzunar, cu litere mici şi ilizibile. Colegii săi spuneau că tot ceea ce scria acolo „urma să fie făcut cu promptitudine". [3] Era conştient de provocarea de a construi un dispozitiv de înaltă tensiune pentru accelerarea particulelor, dar acum, după discursul lui Rutherford, ideea era ferm întipărită în minte şi scrisă în agendă.

Ştia că existau două bariere uriaşe care trebuiau depăşite. Una era teoretică, iar cealaltă era experimentală.

Cockcroft se afla într-o poziţie unică pentru a rezolva o problemă cu provocări atât teoretice, cât şi practice. Primul Război Mondial i-a întrerupt studiile de matematică, iar apoi

a devenit ucenic la o companie numită „Metropolitan Vickers”, sau Metrovick, o firmă de inginerie electrică din Manchester, care se ocupa de echipamente industriale precum generatoare, turbine, transformatoare şi electronice. Abia după această perioadă în care a lucrat în paralel ca inginer, Cockcroft a urmat cursurile Universității Cambridge pentru a obține o bună pregătire în matematică şi fizică şi a devenit atât un fizician experimentalist, cât şi un teoretician respectabil.

Principala problemă teoretică cu care se confruntau acum era cum să tragă particule alfa sau protoni în nucleul atomic, în condițiile în care aceste proiectile încărcate pozitiv aveau să fie respinse electric de nucleul atomic încărcat pozitiv.

Această respingere este cunoscută sub numele de bariera Coulomb. Cockcroft a trebuit mai întâi să calculeze energia de care ar avea nevoie particulele alfa pentru a trece de această barieră şi a intra în nucleu. El ştia din lucrările sale teoretice că această cifră se va traduce direct în tensiunea necesară pentru a accelera particulele alfa cu suficientă energie. A făcut calculele, dar rezultatul l-a speriat de moarte. Ar fi avut nevoie de circa 10 milioane de volți.

Dacă ai sta vreodată în apropierea unui turn de transmisie de 300 kV (kilovolți), care transportă electricitate pe distanțe mari, şi ai auzi câte un pocnet şi trosnituri ocazionale, te-ai gândi că lucrul cu acest tip de tensiune înaltă este destul de periculos. Ai avea dreptate, iar în 1927 era şi mai înfricoşător. Astăzi suntem relativ familiarizați cu electricitatea pentru că o folosim tot timpul, dar în această perioadă era încă destul de nouă, iar tensiuni atât de mari într-un laborator erau nemaiîntâlnite. Riscul ca un dispozitiv, care funcționa la milioane de volți în laborator, să producă scântei şi să-i electrocuteze pe Cockcroft şi Walton – sau, mai probabil, pe Rutherford, care ar fi putut intra

neanunțat – era o problemă de luat în serios. Mai mult, toate piesele acceleratorului ar fi trebuit să reziste la tensiunea incredibilă fără să se fisureze, să explodeze sau să facă scântei.

În timp ce Cockcroft se gândea la această problemă, fizicienii din Statele Unite deja se ocupau de provocarea de a genera înaltă tensiune. Merle Tuve încerca să folosească o bobină Tesla, la fel ca Allibone. Robert Van de Graaff lucra la un sistem de transfer al sarcinii, cu o curea şi o cupolă mare de metal. În aceeaşi perioadă au fost făcute şi alte încercări – tensiuni înalte pulsatorii, descărcări de condensatoare şi transformatoare enorme – toate pentru furnizarea energiei necesare fasciculelor de particule. În Europa, unii cercetători germani îşi riscau chiar viața în munți, încercând să exploateze fulgerele.

Între timp, la Cambridge, Walton şi Allibone se chinuiau să accelereze particule.

Walton a încercat prototipuri ale unui mic accelerator circular şi, de asemenea, o versiune liniară, dar nu a avut succes cu niciunul dintre ele. Totuşi, înainte să-şi dea seama cum va continua, un fizician teoretician rus pe nume George Gamow a sosit la Cambridge şi a schimbat totul.

Gamow fusese de curând la Göttingen, Germania, unde învățase despre noile idei ale mecanicii cuantice pentru doctoratul său. În timp ce toți cei de acolo studiau aranjamentele electronilor în atomi, Gamow a decis să încerce să aplice nucleului atomic ideile din mecanica cuantică. Citind despre acest subiect, a dat peste o lucrare recentă a lui Rutherford, care descria dispersia particulelor alfa de la o țintă confecționată din uraniu. [4] Rutherford susținea că particulele alfa erau împrăştiate aşa cum preconizau ecuațiile sale obişnuite, dar Gamow nu a fost convins. Se întâmpla să ştie că uraniul emite particule alfa în dezintegrare radioactivă cu o energie de aproximativ

jumătate din cea pe care Rutherford o folosea pentru a-l bombarda.

Deşi Gamow nu ştia prea multe despre forța misterioasă care ține nucleul unit, ştia că aceasta ar trebui să acționeze în acelaşi mod indiferent dacă particula alfa intra sau ieşea din nucleu. La intrare, aşa cum încerca Rutherford, particula alfa trebuia să depăşească bariera lui Coulomb, apoi ar fi rămas prinsă în interiorul nucleului. În dezintegrarea radioactivă, o particulă alfa trebuia să scape mai întâi de această forță care o ținea captivă, înainte ca forța Coulomb să poată prelua controlul şi să o împingă mai departe. Procesul ar trebui să fie acelaşi în ambele cazuri, pur şi simplu, inversat. Deci, cum se poate ca particulele alfa din interiorul nucleului să fi trişat cumva şi să se fi scurs în afară cu doar jumătate din energia necesară?

Când a închis jurnalul ştiințific, Gamow şi-a amintit că „ştia ce se întâmplă, de fapt, în acest caz. Era un fenomen tipic care ar fi fost imposibil în mecanica newtoniană clasică, dar care era, de fapt, prevăzut în cazul noii mecanici ondulatorii". [5] Aşa cum am văzut în capitolul 3, în mecanica cuantică ondulatorie fiecare particulă are o natură ondulatorie care se poate propaga în spațiu. Acest lucru înseamnă că nicio barieră nu este 100% solidă; undele se pot infiltra în regiuni în care, din perspectiva mecanicii clasice, nu ar trebui să poată pătrunde deloc. Potrivit lui Gamow, „dacă unda trece, chiar şi cu dificultate, ea întotdeauna transportă clandestin cu ea o particulă". Noi numim acum acest lucru efectul tunel din mecanica cuantică. După ce a citit lucrarea lui Rutherford, Gamow a formulat rapid un model simplu pentru a descrie probabilitatea ca acest lucru să se întâmple în cazul uraniului şi a constatat că teoria sa explica foarte bine perioada de înjumătățire radioactivă a acestui element.

Astfel, şi-a dat seama cum scapă particulele alfa din nucleu în dezintegrarea radioactivă. Ştia că a descoperit ceva.

Gamow s-a dus apoi la institutul lui Niels Bohr, unde a făcut calcule suplimentare pentru a afla dacă această idee ar putea fi aplicată şi în sens invers, pentru a ajuta la bombardarea elementelor cu proiectile accelerate artificial.

Niels Bohr l-a îndemnat să meargă la Cambridge, dar, cunoscând reputaţia lui Rutherford de a-i ignora uneori pe teoreticieni, au plănuit să-i netezească puţin drumul. Gamow a sosit la începutul anului 1929 înarmat cu un cadou: două grafice desenate de mână referitoare la experimentele lui Rutherford privind bombardarea nucleelor uşoare cu particule alfa. Primul arăta că, dacă energia particulelor alfa ar putea fi mărită, randamentul de protoni desprinşi de pe elementele uşoare ar creşte rapid, un gând ispititor pentru echipa care număra acele mici scântei în întuneric. Cel de-al doilea arăta că, pentru o energie fixă a particulelor alfa, mai puţini protoni erau desprinşi atunci când nucleele erau mai uşoare. Ambele teorii ale lui Gamow se potriveau de minune cu datele experimentale. Strategia a funcţionat, iar Gamow a fost primit cu braţele deschise în Cavendish.

Conform amintirilor lui Gamow, acesta a ajuns la Cambridge şi i-a arătat munca sa lui Rutherford, iar apoi a fost pus să lucreze la calcularea energiei necesare pentru ca protonii să intre în nucleele elementelor uşoare. [7] Cu un argument foarte simplu, Gamow a spus că ar fi vorba de aproximativ 1/16 din energia particulelor alfa pe care o luase în considerare anterior.

— Atât de simplu să fie? a întrebat Rutherford. Credeam că va trebui să acoperi foi multe de hârtie cu formula ta nenorocită.

Înainte de vizita sa, una dintre ciornele lucrărilor lui Gamow ajunsese deja la John Cockcroft, care a făcut un

calcul similar. Calculele sale i-au oferit energiile particulelor exprimate în electronvolți, sau „eV”, adică cantitatea de energie pe care o particulă[8] o capătă după ce trece printr-o diferență potențială de un volt.

Până atunci, el avusese nevoie de protoni pentru a atinge un milion de electronvolți (MeV), ceea ce necesita un accelerator de particule de un milion de volți. Acum a ajuns la concluzia că exista o mică şansă ca un proton cu o energie mai mică de 1MeV să ajungă în nucleu. De fapt, energia necesară ar putea fi chiar şi de 300 keV (kiloelectronvolți). Cockcroft îşi dăduse deja seama de implicațiile acestei idei: dacă protonii puteau trece prin bariera Coulomb datorită efectului de tunel al mecanicii cuantice, atunci poate că săparea în nucleul atomic putea fi realizată cu un accelerator de particule mai mic decât se credea.

Relatările sunt contradictorii cu privire la faptul dacă Cockcroft sau Gamow a fost primul care l-a făcut pe Rutherford să conştientizeze această posibilitate, dar important este că amândoi au ajuns la acelaşi rezultat şi că amândoi se aflau în acelaşi laborator când s-a întâmplat.

Rutherford era hotărât. Pentru prima dată, avea să ia o decizie majoră bazată, pur şi simplu, pe o predicție teoretică, deoarece ştia că, dacă nu acționau acum, concurenții lor ar putea să le-o ia înainte. L-a chemat pe Cockcroft şi i-a spus:

— Construiți-mi un accelerator de un milion de electronvolți; vom sparge nucleul de litiu fără probleme!

Acum când Cockcroft avea nevoie doar de o zecime din tensiunea la care se gândise anterior, proiectul a început să pară mai fezabil şi şi-a propus să facă o primă încercare la 300 000 de volți. Aceasta era tensiunea minimă, conform calculelor sale, la care s-ar putea întâmpla ceva interesant. Dar era teribil de ocupat să organizeze totul în laboratorul de câmpuri magnetice înalte de alături, aşa că atât el, cât şi

Rutherford şi-au dat seama că avea nevoie de un partener învățat cu experimentele şi interesat de accelerarea particulelor. Au găsit un complice dispus să le fie alături în persoana lui Ernest Walton.

Împreună, Cockcroft şi Walton doreau să construiască cel mai mare experiment din întregul laborator Cavendish. Chiar şi la noua tensiune de 300 kV, urma să fie o bestie complicată şi costisitoare. De asemenea, au recunoscut că existau provocări pe care trebuiau să le înfrunte dincolo de tensiunea înaltă pentru a face acceleratorul de particule să funcționeze. În primul rând, aveau nevoie de o sursă de particule. Acest lucru era destul de uşor pentru electroni, dar producerea unui flux constant de protoni, particule alfa sau altceva era mult mai dificilă. Ar fi trebuit să trimită aceste particule prin înaltă tensiune pentru a le împinge la o energie ridicată. Apoi, ar fi trebuit să găsească o modalitate de a controla fasciculul şi funcționarea aparatului în sine de la o distanță sigură, deoarece acesta urma să producă radiații. Odată ce aveau particule de înaltă energie, trebuiau să le spargă într-un fel de țintă şi, în cele din urmă, după ce toate acestea erau gata, aveau nevoie de un sistem de detectare pentru a putea vedea ce s-a întâmplat în reacție.

Cel puțin exista o parte de care nu-şi făceau griji. Laboratorul era plin de experți mondiali în utilizarea numărătorii cu scintilații şi apăreau idei noi în permanență pentru partea de detecție a experimentului, inclusiv în camera cu ceață a lui Wilson. Dar aveau mult de lucru pentru a crea sursa de protoni, pentru a genera tensiuni înalte fără a distruge aparatura şi pentru a reuşi să controleze totul cu succes.

Introducerea unui echipament de ultimă generație conceput pentru a transporta tensiuni înalte într-un laborator universitar prost proiectat era o idee care i-ar fi descurajat pe majoritatea fizicienilor, dar John Cockcroft era

hotărât să facă acceleratorul să funcționeze. Dându-şi seama că nu puteau fabrica în cadrul companiei tot ce aveau nevoie, s-a bazat pe foştii săi patroni de la Metrovick, creatori de echipamente de înaltă tensiune de top la nivel mondial. Prima sa solicitare a fost o sursă de energie pentru experiment, un generator cu motor, pe care Cockcroft l-a cumpărat la un preț bun. Apoi, aveau nevoie de un transformator pentru a creşte tensiunea la 300 000 de volți, dar când Cockcroft a cerut unul, a dat de probleme. Transformatoarele Metrovick existente, folosite pentru tuburile cu raze X de înaltă energie sau pentru testele electrice, erau, pur şi simplu, prea mari pentru a încăpea prin uşa îngustă cu arcadă de piatră a Laboratorului Cavendish. Fireşte, Cockcroft le-a cerut celor de la Metrovick să inventeze unul care să încapă.

Următorul pas a fost să transforme curentul alternativ de înaltă tensiune de la transformator într-o sursă de curent continuu. Curentul alternativ, care provine, de obicei, de la prizele noastre de perete, oscilează între valori pozitive şi negative de aproximativ 50 de ori pe secundă, dar Cockcroft ştia că acest lucru nu era bun pentru accelerarea particulelor, deoarece partea negativă a undei de curent alternativ ar decelera particulele în loc să le accelereze. În schimb, avea nevoie de un curent continuu (CC) pentru a furniza o tensiune care să împingă mereu protonii de-a lungul tubului. Acest lucru însemna adăugarea unui dispozitiv numit redresor după transformator, dar nu existau redresoare comerciale care să poată rezista la tensiunea de 300 000 de volți pe care doreau să o folosească. Cockcroft ştia că se lovise de o limită, deoarece era inevitabil că va trebui să depăşească această tensiune în viitor. Aşa că, în timp ce Metrovick lucra încă la noul transformator, Cockcroft şi Walton au început să inventeze un redresor în laboratorul în care lucrau.

Cockcroft era cel care coordona logistica, dar, în realitate, Walton a preluat cea mai mare parte a activității experimentale. Una dintre dificultățile cu care s-au confruntat se referea la baloanele de sticlă care constituiau o parte a redresorului.

Walton primea baloane realizate de suflătorul de sticlă din cadrul laboratorului, Felix Niedergesass, pe care le supunea la tensiuni înalte folosind bobina Tesla a lui Allibone, cu efecte adesea dezastruoase. Câmpurile electrice se concentrau în jurul oricăror margini ascuțite, fie că era vorba de praf sau de o imperfecțiune a sticlei, iar „efectul corona”[1] făcea ca scânteile să se strecoare pe suprafață şi să o perforeze. Pentru obținerea formei corecte a baloanelor era nevoie de luni bune de aproximări succesive, iar, în cele din urmă, modelele au devenit atât de mari, încât au depăşit posibilitățile laboratorului de suflat sticlă al lui Niedergesass şi au trebuit să fie comandate de la o fabrică specializată.

Pe lângă baloanele de sticlă, au avut nevoie de cabluri speciale pentru anod şi catod, de o sursă de încălzire pentru catod, de scuturi corona pentru a preveni producerea de scântei şi de pompe de vid fiabile. La fel ca majoritatea cercetătorilor de la Cavendish, au folosit ceară roşie de corespondență de la Banca Angliei pentru toate îmbinările şi garniturile. Toate componentele au trebuit să fie testate pentru a fi se verifica capacitatea de a rezista la înaltă tensiune. Walton a tot ajustat la ele lună de lună. Trebuia să lucreze rapid, dar, în acelaşi timp, nu se putea grăbi, deoarece tensiunile cu care se confrunta erau periculoase. De fiecare dată când era nevoie de o schimbare, trebuia să rupă toate sigiliile de ceară, să le curețe din nou, să le încălzească şi să le aplice din nou înainte de a relua testul. Pe măsură ce lucrurile avansau, îşi petrecea zile întregi căutând scurgeri de vid şi etanşându-le.

Din când în când, Rutherford mai trecea pe la el să vadă cum merg lucrurile.

Vedea piesele mari de echipament care apăreau de la furnizorii industriali şi se plângea, în stilul său tipic, că erau prea voluminoase sau prea scumpe, ceea ce i-a determinat pe fizicienii de la Metrovick să spună că ar trebui „să fie pus să privească totul prin capătul greşit al unui telescop, deoarece totul este prea mare pentru el!" Până în 1930, Metrovick şi-a respectat promisiunea unui nou transformator compact, conceput pentru a încăpea pe uşa de la Cavendish şi pe scări în jos până la subsol. Chiar şi aşa, podeaua laboratorului a trebuit să fie consolidată pentru a-l susține. Compania a trebuit să livreze şi un nou sistem de vid după ce unul dintre oamenii lor de ştiință, Bill Burch, a inventat o pompă bazată pe un nou tip de ulei pe care l-a dezvoltat (Apeizon). Cockcroft a pus mâna pe câteva prototipuri înainte ca restul lumii să aibă acces.

Cu toate progresele lor, nu reuşiseră încă să realizeze sursa de protoni sau tubul de accelerare prin care urmau să se deplaseze particulele. Pentru sursa de protoni, au testat o serie de configurații diferite şi, în cele din urmă, au optat pentru o rudă a tubului catodic, numit tub cu raze canal sau tub cu raze anodice.

Dispozitivul seamănă cu un tub catodic, un cilindru lung de sticlă umplut cu hidrogen gazos, cu o tensiune mare aplicată între anod (la un capăt) şi catod (acum în mijlocul tubului). Protonii sunt creați de câmpul electric care dezintegrează hidrogenul gazos din tub şi sunt apoi atraşi spre catodul negativ, prin găurile căruia pot trece. În cele din urmă, ei ies pe partea cealaltă în direcția opusă electronilor (raze catodice), creând astfel o frumoasă strălucire fluorescentă în tub.

Acest tub delicat a fost montat în partea de sus a instalației, astfel încât protonii să poată călători în jos şi să

ajungă în secțiunea principală de accelerare, un tub vidat din sticlă de 1,5 metri lungime. În interiorul tubului, tensiunea înaltă a fost conectată la doi electrozi metalici cilindrici cu un spațiu între ei. Protonii erau accelerați de tensiunea înaltă în timp ce treceau în jos prin spațiul liber. Primul accelerator de particule din lume era în curs de realizare.

În mai 1930, erau gata să efectueze un test. Pe parcursul unei săptămâni, Cockcroft şi Walton au crescut treptat tensiunea de la 50 000 V la 100 000 V şi apoi, în cele din urmă, la 280 000 V, moment în care au existat semne că au atins limita. Totuşi, fasciculul de protoni care a ieşit a fost mai puțin satisfăcător. Era complet nefocalizat şi se răspândea pe un cerc de aproximativ 4 centimetri în diametru. Cu un fascicul atât de larg, experimentul ar fi eşuat. Pentru a remedia acest lucru ar fi trebuit să dezmembreze din nou întreaga instalație. Dar mai întâi, au verificat dacă se întâmpla ceva interesant din punct de vedere ştiințific.

La o energie atât de mică, au presupus că protonii nu ar putea afecta prea mult nucleul, poate doar să excite câteva particule din interior şi să emită raze gamma, aşa că au montat un electroscop simplu şi au pus o mostră de litiu sub fascicul.

Nimic. Beriliu? Un efect minuscul. Plumb? Poate un mic efect şi acolo, dar era posibil să fi fost doar o problemă cu aparatul. Apoi li s-a defectat transformatorul.

Era timpul să facă un bilanț. Având transformatorul defect acum, trebuiau să evalueze dacă merită reparat pentru a reconstrui aparatul de 300 kV. Având în vedere lipsa de rezultate de până acum, nu erau siguri că merita efortul. Dar dacă greşiseră calculele şi 300 kV nu erau suficienți pentru a diviza nucleul? Chiar şi schimbând puțin cifrele, obțineau rezultate foarte diferite. Între timp,

Rutherford – acum Lord Rutherford – devenea tot mai nerăbdător din cauza lipsei de rezultate de la acceleratorul de testare. Trebuiau să-l țină de partea lor şi să-i dovedească faptul că investiția în marele lor experiment merita. Deşi ar fi fost mai rapid să reconstruiască aparatul de 300 kV decât să construiască o versiune nouă, mai mare, trebuiau să recunoască faptul că 300 kV fusese întotdeauna conceput ca un prim pas. În cele din urmă, alocarea încăperilor a fost cea care a decis pentru ei. Au fost mutați într-o nouă încăpere mai mare, în care lumina pătrundea prin frumoasele ferestre înalte şi arcuite de-a lungul unui perete, în timp ce celălalt perete era plin de table negre. Acolo începea cu uşurință o maşină mai mare. Cockcroft şi Walton au decis că trebuie să fie siguri că vor obține rezultate data viitoare, aşa că au decis să renunțe la aparatul de 300 kV şi să îşi concentreze toate eforturile pe construirea unei noi maşini de 800 kV.

Noul proiect, creat de Cockcroft, a adăugat în mod ingenios straturi ale unui circuit de dublare a tensiunii la primul nivel al redresorului. [11] Cu patru astfel de trepte, ei puteau duce o tensiune de intrare de 200 kV până la 800 kV. Au înlocuit baloanele sferice, greu de fabricat, pentru redresor şi secțiunea de accelerare, cu cilindri de sticlă mai fiabili, după ce au descoperit ideea în lucrările lui Charles Lauritsen, fizician la Caltech, în SUA. De asemenea, au descoperit că, în loc să folosească ceară pentru a etanşa îmbinările, plastilina era mult mai bună şi mult mai rapid de reetanşat, în cazul în care era nevoie de ajustări. Ca şi până atunci, Walton a lucrat fără odihnă pentru a construi noua instalație, scriindu-şi, între timp, teza de doctorat.

La începutul anului 1932, la aproape patru ani după ce Cockcroft şi Walton începuseră, o nouă descoperire majoră a fost făcută la Cavendish. Aceasta nu le aparținea însă lor, ci lui James Chadwick. De ani de zile, acesta făcea

experimente ferit de ochii lumii, când a luat cunoştinţă de rezultatele obţinute de Irène Curie şi Frédéric Joliot la Paris, care arătau că particulele alfa emise de o sursă de poloniu şi lovind o ţintă de beriliu produceau, se spunea, o radiaţie gamma cu o energie incredibil de mare. El ştia că experimentele lor erau corecte: erau excepţional de minuţioşi în această privinţă. Dar nu a fost de acord cu interpretarea lor. În doar câteva săptămâni, a efectuat o nouă serie de experimente care au demonstrat că beriliul bombardat nu emitea raze gamma, ci o particulă neutră cu aproximativ aceeaşi masă ca protonul. După o căutare care a durat aproape 12 ani, Chadwick a descoperit, în sfârşit, neutronul.

Odată cu această nouă descoperire, Rutherford îşi pierdea răbdarea cu privire la proiectul acceleratorului, extrem de costisitor şi consumator de timp. Legenda spune că, atunci când s-a dus să verifice, Rutherford a intrat în laboratorul lor, şi-a agăţat haina udă de un terminal de înaltă tensiune şi s-a electrocutat imediat.

Revenindu-şi din şoc, şi-a aprins pipa într-un nor de cenuşă şi fum şi le-a spus să continue.

În dimineaţa zilei de 14 aprilie 1932, Walton era singur după ce terminase de încălzit instalaţia îmbunătăţită. Cockcroft plecase în grabă să se ocupe de ceva în alt laborator. La insistenţele lui Rutherford, instalaseră detectorul său preferat, un ecran cu sulfură de zinc, în locul electroscopului. Walton a plasat o ţintă de litiu în partea de jos a tubului acceleratorului şi a stabilizat aparatul cu o tensiune de aproximativ 250 000 V. Apoi, a ajustat setările pentru a porni fasciculul de protoni. Curios să vadă dacă se întâmpla cu adevărat ceva, s-a târât pe podea de la staţia de control la accelerator, evitând componentele de înaltă tensiune, şi s-a urcat în cutia căptuşită cu plumb pe care o construiseră pentru observaţii. A tras pânza neagră pentru a

opri pătrunderea luminii zilei, a ajustat microscopul şi a privit prin el.

Pe tot ecranul apăreau sclipiri luminoase. Walton nu stătuse mult timp în laboratorul creşă, dar putea ghici imediat ce vedea: particule alfa. Prea multe ca să le mai poată număra. A ieşit din cutie, s-a ferit din nou şi a oprit fasciculul.

Dispăruseră. L-a pornit din nou, şi iată-le acolo. Abia îi venea să creadă că era real. L-a chemat pe Cockcroft, care a repetat rapid testele. Împreună l-au chemat pe Rutherford, l-au băgat în cutia mică, cu genunchii la urechi, şi i-au arătat ce au găsit. Cu siguranță, erau particule alfa – şi din moment ce el fusese cel care descoperise particulele alfa, trebuia să ştie! Chadwick a fost mai târziu de acord.

Ştiau fără să fie nevoie să îşi explice unul altuia ce se întâmplase: protonii intrau în nucleul de litiu, cu numărul atomic 7, iar nucleul se despărțea în două particule alfa. Pentru prima dată în istorie, provocaseră în mod artificial o dezintegrare nucleară. [12] Mai mult, reuşiseră acest lucru cu protoni la aproximativ 250 keV, mult mai puțin decât 1 MeV sau chiar cei 10 MeV la care se aşteptau.

Teoria cuantică a lui Gamow era corectă.

Şi-au jurat unul altuia să păstreze secretul până când Cockcroft şi Walton au făcut verificările necesare şi au redactat o lucrare rapidă pe care au trimis-o revistei Nature. În timp ce făceau acest lucru, timp de o săptămână, în primăvara anului 1932, doar patru persoane din lume au ştiut că atomul fusese divizat. Au continuat experimentele într-un ritm frenetic, plasând teancuri de folii subțiri în calea particulelor alfa pentru a confirma că acestea ieşeau din nucleu cu o viteză extraordinară. Fiecare particulă alfa se deplasa cu o energie de 8 MeV, ceea ce, la prima vedere, pare imposibil, având în vedere că protonii intrau cu doar

câteva sute de keV, dar această măsurătoare le-a întărit încrederea că înțeleseseră corect.

Masa protonului şi a litiului combinate înainte de reacție era puțin mai mare decât masa celor două particule alfa după aceea. Luând această diferență de masă şi convertind-o în energie cu ajutorul deja celebrei ecuații a lui Einstein $E=me^2$, calculele lor au explicat aproape exact energia de 8 MeV.

În ziua de joi, 28 aprilie, Rutherford i-a invitat pe Cockcroft şi Walton la o şedință a Societății Regale. Mulțimea se adunase pentru a sărbători descoperirea neutronului de către Chadwick, iar Rutherford a menționat această mare realizare în discursul de deschidere pe care îl pregătise. Apoi a rămas pe podium. După o pauză dramatică, a anunțat că doi tineri prezenți în sală, John Cockcroft şi Ernest Walton, au accelerat artificial particule şi au reuşit să divizeze nucleul litiului şi al altor elemente uşoare. Nu a trebuit decât să ridice mâna pentru a face un gest către cei doi tineri pentru ca audiența să izbucnească în aplauze spontane.

În câteva zile, ziarele au anunțat „Cea mai mare descoperire a ştiinței”. [13] Vestea s-a răspândit rapid în întreaga lume, New York Times publicând pe prima pagină titlul „The Atom is Giving Up Its Mighty Secrets” (Atomul ne dezvăluie secretele sale mărețe). Cockcroft şi Walton s-au adaptat rapid la noua viață de a poza în fața camerelor de luat vederi alături de Rutherford sau cu echipamentul lor, arătând uşor stânjeniți în timp ce erau intervievați de valul brusc de jurnalişti de la uşa laboratorului.

Concurenții se ciupeau să-şi dea seama dacă nu cumva visează. Dacă ar fi ştiut că pot dezintegra un atom de litiu cu doar 125 000 V[14], ei ar fi putut fi cei care ar fi făcut descoperirea. Chiar şi Cockcroft şi Walton ar fi putut reuşi cu doi ani mai devreme, dacă ar fi pus în experiment un

ecran de sulfură de zinc – pentru a putea vedea cu uşurinţă fiecare licărire a particulelor alfa – în locul electroscopului. Când în sfârşit au făcut asta, s-a dovedit a fi mult mai uşor de lucrat decât mişcările mai abstracte ale foiţelor într-un electroscop. Pur şi simplu, nu prea crezuseră că tensiunea scăzută a primului lor accelerator va fi suficientă.

Până la sfârşitul anului 1932, alte laboratoare din întreaga lume se grăbeau să transforme orice dispozitiv cu o tensiune suficientă în aparate de dezintegrare a atomilor. Se năştea un domeniu complet nou al fizicii nucleare.

Rutherford şi echipa sa aveau în sfârşit nu doar una, ci două noi descoperiri revoluţionare aproape în acelaşi timp. Existenţa neutronului fusese în sfârşit confirmată, dar mult mai interesantă era capacitatea de a diviza artificial nucleul unui atom. Rutherford îşi atinsese obiectivul de a înţelege ce se afla în interiorul nucleului: protoni şi neutroni. Experimentul a confirmat, de asemenea, importanţa mecanicii cuantice în nucleu şi faptul că formula $E=me^2$ a lui Einstein rămânea valabilă şi la divizarea atomilor. Erau, din nou, clar în fruntea cursei pentru înţelegerea nucleului atomului, iar acum, pentru prima dată, Rutherford şi echipa sa aveau capacitatea de a dezintegra nuclee după bunul plac pentru a le studia mai departe. În loc să se bazeze pe razele cosmice, ei puteau acum să-şi controleze experimentele schimbând tipul de particule pe care le accelerau, câte particule erau folosite şi energia acestora, pentru a studia impactul pe care îl aveau asupra oricărei mostre pe care doreau să o bombardeze.

Puteau să le pornească şi să le oprească oricând doreau. Nucleul le stătea la dispoziţie pentru a fi explorat.

Odată cu posibilitatea apărută brusc de a accelera artificial particule, cererea de acceleratoare din partea cercetătorilor a crescut rapid. Companiile au acţionat rapid pentru a prelua noua tehnologie, adesea pentru a o utiliza

în propriile laboratoare de cercetare. În Europa, compania Philips din Olanda a construit redresoare şi generatoare întregi Cockcroft-Walton, aşa cum a ajuns să fie cunoscut designul lor, şi chiar a vândut mai târziu unul celor de la Cavendish atunci când aceştia şi-au extins laboratorul de înaltă tensiune la mijlocul anilor 1930. Concurenţii lor din Statele Unite, printre care Van de Graaff, au avut, de asemenea, succes comercial cu acceleratoarele lor de înaltă tensiune. La scurt timp după marea descoperire, Westinghouse a început să construiască aparate de înaltă tensiune folosind metoda lui Van de Graaff şi, până în 1937, a construit un accelerator de 5 MeV cunoscut sub numele de Westinghouse Atom Smasher.

Până la mijlocul anilor 1950, orice facultate sau laborator de fizică universitar care se respecta trebuia să aibă un accelerator de particule. În prezent, doar câteva companii încă mai fabrică acest tip de aparat şi găseşti produsele lor în institutele şi laboratoarele de cercetare din întreaga lume.

Dacă ai văzut vreodată un astfel de dispozitiv, nu-l vei uita niciodată. În nordul Angliei, se află Institutul Cockcroft, care astăzi este specializat în proiectarea şi construirea de noi acceleratoare de particule. [15] În imensul atrium luminat al institutului, vizitatorii sunt opriţi din drum de vederea unui dispozitiv metalic enorm. Patru izolatori ceramici cu nervuri maro-închis se ridică înconjuraţi până la jumătatea înălţimii de inele metalice în formă de gogoaşă, în timp ce tuburi de cupru roşiatic fac zigzaguri între ele. Întreaga structură urcă până la tavanul de trei etaje şi culminează cu un terminal metalic argintiu uriaş şi sferic. Acest generator Cockcroft-Walton special a furnizat în trecut protoni pentru o mare instalaţie de accelerare[1] de la Laboratorul Rutherford Appleton, situată la sud de Oxford. Deşi oferă o primă impresie deosebită, generatorul nu este, de fapt, atât de vechi: a funcţionat fără probleme din 1984 până în 2005,

când a fost, în cele din urmă, scos din uz şi înlocuit cu o tehnologie mai modernă. [17]

Nu un accelerator Cockcroft-Walton, ci un accelerator de tip Van de Graaff, era cel pe care fizicianul nuclearist Harry Gove îl avea în laboratorul său de la Universitatea din Rochester în 1977, când Charles Bennett l-a rugat pentru prima dată să-l ajute la găsirea datei de fabricație a viorii sale. Acest lucru părea imposibil, cel puțin până când a apărut ideea de a folosi acceleratorul pentru a detecta urme foarte mici de carbon-14. Pentru primul lor experiment, au cumpărat saci de cărbune pentru grătar, din lemn de esență tare, de la magazinele locale pentru a reprezenta carbonul din prezent (provenit din copaci care fuseseră tăiați recent). L-au introdus în sursa de ioni, punctul de pornire al acceleratorului care vaporizează probele şi utilizează o tensiune ridicată pentru a elimina electronii şi a crea un fascicul de ioni încărcați ce pot fi accelerați în aval. Pentru comparație, au găsit şi o mostră de grafit, provenit din depozite de petrol vechi de milioane de ani, în care carbonul 14 ar fi trebuit să se fi redus la zero. Pe data de 18 mai 1977, au analizat cele două probe şi au constatat despre cărbune că avea de peste 1 000 de ori mai mult carbon-14 față de grafit. După cum îşi aminteşte Gove, „a fost unul dintre acele triumfuri de care îți dai seama imediat şi care apar prea rar în ştiință”. [18]

În loc să aştepte ca dezintegrarea radioactivă a carbonului 14 să se producă în mod spontan, acceleratorul de particule le-a permis să ia o mostră minusculă şi să accelereze toți atomii şi izotopii individuali. Odată ajunse la viteze mari, traiectoriile particulelor erau curbate cu ajutorul unui magnet şi, întrucât carbonul-14 s-ar fi curbat în mod natural ceva mai puțin decât carbonul-12, din cauza masei sale mai mari, cantitățile relative puteau fi numărate, pur şi simplu, cu ajutorul unui detector. Acceleratorul de particule

a oferit un control şi o precizie rafinate, permiţându-le acestora să ocolească limitele naturale ale datării cu radiocarbon. A devenit rapid clar că aplicaţiile posibile erau enorme.

Meyer Rubin, un geochimist care conducea unitatea de datare cu carbon pentru US Geological Survey, a văzut articolul şi a luat rapid legătura cu Gove şi echipa sa. Rubin a declarat că păstrase în linişte grămezi de mici mostre geologice care erau prea mici pentru metoda tradiţională de datare cu carbon, aşteptând ca cineva să creeze o modalitate de a le măsura. Câteva săptămâni mai târziu, el a sosit în Rochester pentru a lucra cu echipa lui Gove şi Bennett în încercarea de a măsura mostre de câteva miligrame folosind noua tehnică a acceleratorului.

Rubin era entuziasmat de potenţialul de măsurare a mostrelor mici, în special în geologie, climatologie, oceanografie şi dendrocronologie (studiul inelelor copacilor). Împreună, echipa a produs o serie de descoperiri folosind noua tehnică: au verificat metoda prin datarea unor mostre organice vechi de 48 000 de ani, constatând că acestea erau în concordanţă cu măsurătorile anterioare ale lui Rubin, care folosise mostre mult mai mari. Colaborând cu numeroşii cercetători care i-au contactat, grupul de la Rochester a datat meteoriţi din Antarctica, gheaţă, un mamut lânos şi chiar mostre de aer străvechi care conţineau nu miligrame, ci doar micrograme de carbon-14, toate cu succes. În 1978, Rubin a adus o bucată de înveliş de pânză de la o mumie egipteană a cărei vechime fusese estimată la aproximativ 2 050 de ani, iar împreună au efectuat un experiment care a verificat rezultatul. Apoi s-au orientat către o cerinţă convingătoare, dar controversată.

În jurul anului 1979, echipa a fost contactată de British Turin Shroud Society (Societatea Britanică Giulgiul din Torino), în ideea de a stabili o dată pentru artefactul în care

se presupune că a fost îngropat Iisus. A fost nevoie de zece ani pentru a se obține primele rezultate, ceea ce a dus la o celebră investigație în 1987. Mici mostre au fost trimise la o serie de laboratoare din întreaga lume care adaptaseră sau instalaseră acceleratoare de particule special în acest scop, inclusiv la Rochester şi la instalația de datare cu radiocarbon din Oxford. Gove şi Rubin au descoperit că giulgiul este medieval (1260–1390 e.n.) cu un nivel de încredere de 95% şi că nu este deloc vechi de 2 000 de ani. Celelalte laboratoare au confirmat toate rezultatele lui Gove. În ciuda acestor rezultate, Giulgiul din Torino este venerat şi astăzi.

Tehnica apărută, despre care mulți cred că ar fi fost inventată de Gove, [1] se numeşte spectrometrie de masă cu accelerator, sau AMS (acronim de la Accelerator Mass Spectrometry). În prezent, există instalații în laboratoare care utilizează acceleratoare de particule dedicate acestei tehnici nu doar în Statele Unite, ci şi în Turcia, România, Australia, Japonia, Rusia şi China, pentru a aminti doar câteva dintre ele. Multe dintre țările care găzduiesc aceste instalații sunt interesate de înțelegerea propriei lor istorii geografice şi culturale, iar AMS oferă posibilitatea de a reconstitui poveştile unor obiecte rare şi prețioase fără a le distruge. La fel ca în cazul viorii lui Bennett, probele necesare pentru AMS sunt de cel puțin 1 000 de ori mai mici decât pentru datarea tradițională cu carbon. În cele mai multe cazuri, nu există nici o altă metodă definitivă de stabilire a cronologiei. De atunci, tehnologia acceleratoarelor a deschis noi perspective în istorie, geologie, arheologie şi în multe alte domenii.

Se pare că Bennett nu a aflat niciodată dacă vioara sa era sau nu un Stradivarius veritabil sau, cel puțin, nu a autentificat niciodată această afirmație improbabilă, deoarece nu s-a mai consemnat nimic despre ea. [2] Dar,

până atunci, poate că uitase cu totul, prins în entuziasmul ştiinţific suprem de a inventa cea mai precisă metodă de datare a artefactelor istorice pe care o cunoaştem.

*

În prezent, majoritatea oamenilor încă mai presupun că acceleratoarele de particule şi fasciculele pe care le creează sunt folosite doar de fizicieni şi că nu se apropie nici pe departe de alimentele, apa, obiectele de uz casnic sau de propriul nostru corp. Cu toate acestea, de la cipurile din telefoanele şi computerele noastre, la anvelopele automobilelor, până la folia de protecţie de pe alimente, suntem înconjuraţi în fiecare zi de obiecte care au fost consolidate sau îmbunătăţite în alt mod cu ajutorul fasciculelor de particule. Adesea, aceste metode de iradiere sau de modificare bazate pe particule sunt alese pentru că sunt mai rapide, mai ecologice şi mai eficiente decât utilizarea unor alternative precum substanţele chimice sau prelucrarea manuală. Şi nu vorbim de o piaţă mică: se estimează că, în fiecare an, produse în valoare de aproximativ 500 de miliarde de dolari sunt formate sau modificate cu ajutorul fasciculelor de particule numai în Statele Unite ale Americii. Multe dintre aceste aparate sunt acceleratoare electrostatice, descendente ale celui pe care Cockcroft şi Walton l-au folosit pentru a diviza atomul la începutul anilor 1930.

Una dintre cele mai mari aplicaţii este în industria semiconductorilor. Puternicele cipuri de calculator din interiorul telefoanelor inteligente şi laptopurilor noastre se bazează pe componente electronice realizate din semiconductori, care formează acele 1 şi 0 binare pe care se bazează toată logica computerelor. Pentru a transforma un semiconductor ca siliciul într-un dispozitiv util, acesta trebuie să fie uşor impur prin adăugarea de dopanţi: cantităţi mici de alte elemente precum bor, fosfor sau galiu.

Aceşti dopanți oferă un control precis asupra proprietăților electrice ale semiconductorului, dar sunt foarte greu de adăugat prin mijloace chimice. Singura modalitate precisă de a face acest lucru este de a controla ioni individuali şi de a-i implanta cu ajutorul unui accelerator de particule, un proces numit implantare ionică. Fără acceleratoarele de particule din aceste fabrici, nu am fi avut electronica modernă, bazată pe semiconductori, care este acum încorporată în camerele digitale, maşinile de spălat, televizoarele, maşinile, trenurile şi chiar în aparatele de gătit orez.

Nu doar semiconductorii pot fi modificați cu ajutorul fasciculelor de particule – chiar şi bijutierii sunt implicați în acest proces. Compania de diamante DeBeers are acceleratoare care produc fascicule de ioni pe care le utilizează pentru a bombarda pietrele prețioase brute. Acest lucru poate schimba culoarea unui diamant sau poate transforma turcoazul dintr-un roz-închis în albastrul-transparent pentru care este renumit.

Între timp, la doar cincisprezece metri sub faimoasa piramidă de sticlă, Muzeul Luvru din Paris are un accelerator de particule dedicat în întregime artei.

Instalația se numeşte AGLAE – Accélérateur Grand Louvre d'analyse élémentaire – o instalație lungă de 37 de metri, folosită pentru a bombarda artefacte din muzeu pentru a afla din ce elemente sunt făcute. Sub îndrumarea directorului laboratorului, doctor Clare Pacheco, echipa foloseşte acceleratorul pentru o serie de aplicații care sunt denumite colectiv analiză cu fascicule de ioni. Una dintre tehnicile pe care le utilizează în mod regulat este cunoscută sub numele de spectrometrie de retrodifuziune Rutherford (RBS – de la Rutherford Backscattering Spectrometry). Astfel, se numără ionii care ricoşează înapoi de la o țintă, căutând exact tipul de rezultat pe care cercetătorii de la

Cavendish l-au folosit cu folia de aur pentru a demonstra că atomul avea un nucleu. Acum, cu ajutorul condițiilor controlate ale unui accelerator, ei pot utiliza întreaga putere a acestei idei într-un mod în care experimentatorii inițiali nu ar fi visat vreodată.

Mostra de artă este plasată în linia fasciculului de particule, iar un detector captează ionii care sunt dispersați înapoi. Pentru fiecare poziție a detectorului, nuclee atomice diferite vor ricoşa un număr diferit de ioni, iar acceleratorul modifică energia fasciculului de ioni pentru a trasa o curbă caracteristică a energiei în funcție de numărul de ioni. Apoi, este doar o chestiune de comparare a curbelor cu cele ale materialelor cunoscute pentru a afla ce atomi se află în mostră şi cantitățile lor relative. Această tehnică a fost folosită, de exemplu, pentru a confirma că o teacă aparținând lui Napoleon era într-adevăr din aur masiv. Cu ajutorul acestei metode şi al altora, echipa doctorului Pacheco poate identifica chiar şi cea mai mică urmă de elemente din tabelul periodic, de la litiu la uraniu, ajutând la descoperirea secretelor şi originilor operelor de artă şi ale artefactelor istorice fără a provoca daune. Dacă v-ați întrebat vreodată cum pot istoricii de artă să ştie fără echivoc că o operă de artă este autentică, aceasta este una dintre modalități.

Aceleaşi tehnici sunt folosite pentru a măsura compoziția exactă a sticlei din care sunt confecționate sticlele de vin vechi şi pentru a le compara cu sticlele autentice cunoscute. Frauda în domeniul vinului este o problemă mare şi în creştere în industria vinurilor fine. Într-un caz, un colecționar a cheltuit 500 000 de dolari pe patru sticle de vin despre care se spunea că ar fi aparținut fostului preşedinte american Thomas Jefferson. Analiza cu fascicul de ioni a sticlelor a constatat că acestea erau false, iar un

proces a fost lansat destul de repede împotriva comerciantului de vinuri.

Aceeaşi idee începe să fie folosită şi în medicina legală. Majoritatea metodelor de detectare a urmelor de droguri, cum ar fi cocaina, sau a reziduurilor provenite din împuşcături distrug probele. Dar oamenii de ştiinţă, printre care se numără doctor Melanie Bailey de la Universitatea din Surrey, Marea Britanie, folosesc acum analiza cu fascicule de ioni pentru a studia dovezile găsite la locul crimei. [21]

Fără a distruge dovezile, ea poate verifica compoziţia elementară a unei probe şi poate găsi cantităţi minuscule de droguri sau reziduuri pe care alte metode le-ar putea rata. Ea poate chiar să compare rezultatele cu materiale găsite pe hainele sau pe corpul suspecţilor: mici mostre de pământ prelevate de pe un pantof pot plasa un suspect la locul crimei.

Pentru fizicienii din 1932, toate aceste aplicaţii erau departe în viitor. Cockcroft şi Walton au lucrat cu acceleratorul timp de câţiva ani, dar, în scurt timp, noi cercetători au preluat conducerea. John Cockcroft s-a ocupat de alte părţi ale laboratorului şi, mai târziu, a lucrat la utilizarea energiei nucleare pentru aprovizionarea cu energie pe timp de pace. Ernest Walton a acceptat un post universitar în Irlanda natală, la Trinity College din Dublin. Această perioadă intensă a carierei lor, care le-a adus premiul Nobel în 1951, nu se va mai repeta niciodată.

Succesul lor – care a avut loc în acelaşi an în care a fost descoperit pozitronul – a realizat visul lui Rutherford de a descoperi ce se afla în interiorul nucleului. Imaginea începea să se întregească: nucleele conţin atât protoni, cât şi neutroni, de obicei, în număr aproximativ egal. Masa izotopilor variază în funcţie de numărul diferit de neutroni, în timp ce numărul de protoni rămâne acelaşi. Unele

configurații sunt mai stabile decât altele, iar cele instabile sunt radioactive. Rutherford căuta acum să înțeleagă forțele care mențin cumva nucleul laolaltă. Cum reușea prezența neutronilor să împiedice protonii pozitivi să despice nucleul? Acest lucru a motivat ideea unei noi forțe nucleare, care le ține împreună.

În timp ce invenția lui Cockcroft și Walton era încă exploatată atât din punct de vedere științific, cât și industrial, a devenit clar că acceleratoarele de particule care folosesc tensiuni enorme vor atinge în curând o limită fundamentală. Era nevoie de o nouă tehnologie. Ei nu știau că tocmai acea tehnologie, deja dezvoltată în Statele Unite, aproape că-i întrecuse în obținerea rezultatului lor celebru în toată lumea.

Capitolul 6

Ciclotronul: producerea artificială a radioactivității

În 1932, anul în care un accelerator de particule a reușit pentru prima dată să divizeze cu succes un atom, lista particulelor fundamentale găsite în natură creștea rapid. Aceasta includea electronul și versiunea sa de antimaterie, pozitronul, alături de protoni și neutroni. Se credea că toate acestea sunt indivizibile, deși vom vedea mai târziu că protonii și neutronii au și ei o structură. Acum fuseseră introduși fotonii, particulele de lumină, și doar patru ani mai târziu au fost descoperiți miuonii pozitivi și negativi, verii grei ai electronilor și pozitronilor. Nimeni nu cunoștea semnificația particulelor care nu făceau parte din atomi și dacă erau importante sau dacă existau și altele ca ele.

Tot ce știau era că, pentru a afla mai multe, trebuiau să urmeze exemplul lui Cockcroft și Walton și să spargă atomii.

Existau indicii care i-au împins în această direcție, dintre care unul l-am văzut deja – faptul că o forță necunoscută părea să lege protonii şi neutronii în interiorul atomului şi să îi împiedice să se desprindă. Celălalt indiciu era de ordin chimic sau, mai exact, din ceea ce lipsea din chimie. Uraniul era cea mai grea substanță cunoscută în tabelul periodic[1] la acea vreme, dar existau patru goluri corespunzătoare elementelor 43, 61, 85 şi 89. Aranjând pe coloane elementele în funcție de greutatea atomică şi cu proprietăți chimice similare, chimistul rus Dmitri Mendeleev preconizase în secolul al XIX-lea că aceste elemente ar trebui să existe, alături de altele care au fost descoperite ulterior. De exemplu, sub aluminiul din tabel se afla un gol în care Mendeleev a prezis un element pe care l-a numit „eka-aluminiu”, care ar trebui să aibă o anumită densitate, punct de topire şi chimie. Galiul (elementul 31) a fost descoperit ulterior, în 1875, corespunzând aproape exact predicțiilor sale. Retrospectiv, este mai uşor să numim elementele lipsă cu numele pe care le avem acum, technețiu (43), prometiu (61), astatin (85) şi franciu (89), dar, la începutul anilor 1930, acestea nu fuseseră niciodată observate şi, prin urmare, nu aveau nume.

S-ar putea crede că oamenii de ştiință ar fi căutat aceste elemente lipsă, dar nu s-au străduit prea mult – şi asta pentru un motiv întemeiat. Descoperirea elementelor radioactive îi învățase că nu toate elementele din tabelul periodic erau stabile, aşa cum presupuseseră întotdeauna chimiştii, astfel încât era posibil ca elementele lipsă să fi dispărut, pur şi simplu, în timp şi, prin urmare, să nu fie găsite. Acum că era implicată radioactivitatea, atomul se dovedea a fi un loc imprevizibil şi confuz, un loc care era dinamic în moduri pe care chimia nu le putea dezvălui. Obiectivul mai mare consta în înțelegerea naturii atomilor şi

a structurii nucleului, împreună cu forțele care țineau laolaltă întreaga materie.

Acest lucru însemna explorarea şi înțelegerea detaliilor a cât mai multor elemente, în încercarea de a construi o teorie cuprinzătoare care să poată prezice proprietățile elementelor şi ale izotopilor lor, cunoscuți şi necunoscuți, radioactivi sau nu.

Dacă ar putea crea fascicule de particule suficient de puternice pentru a sparge atomii fiecărui element, cine ştie ce ar putea realiza? Acesta a fost motivul care i-a determinat pe Cockcroft şi Walton să îmblânzească tensiuni enorme şi să construiască primul accelerator de particule din lume, dar nu erau singurii care lucrau la această problemă. În câțiva ani, munca lor avea să fie depăşită de un tânăr american pe nume Ernest Orlando Lawrence. Aparatul inventat de acesta nu numai că avea să ajungă să domine domeniul fizicii nucleare, dar avea să aducă împreună oameni de ştiință din diferite discipline pentru a lucra dincolo de granițe şi a deschide domenii neexplorate. Ca urmare, munca lui Lawrence avea să transforme pentru totdeauna şi medicina.

Lawrence nu a avut niciodată intenția de a fi fizician. Era hotărât să studieze medicina atunci când s-a înscris la Universitatea din Dakota de Sud şi a ales chimia ca specializare de sprijin. Dragostea sa pentru fizică a trebuit mai întâi să fie îngrijită şi crescută ca o plantă de un mentor.

Hobby-ul lui Ernest Lawrence a fost cel care l-a atras în orbita mentorului său.

Crescând în Dakota de Sud, Lawrence şi vecinul său Merle Tuve şi-au petrecut cea mai mare parte a timpului liber construind echipamente radio, comunicând prin codul Morse în podul familiei Tuve, învățând despre şi instalând relee, transmițătoare şi alte piese. Când Lawrence a plecat la

universitate, şi-a lăsat echipamentul radio acasă, dar curând a constatat că şi-ar fi dorit ca universitatea să aibă propriul set. Lawrence l-a găsit pe decanul departamentului de inginerie electrică, Lewis Akeley, şi i-a prezentat un argument clar şi coerent pentru achiziționarea unor echipamente radio, inclusiv liste de piese cu prețurile acestora.

În acea seară, Akeley s-a dus acasă la soția sa şi era foarte entuziasmat de Ernest Lawrence, de curiozitatea sa ştiințifică şi de capacitatea sa clară. Dar de ce nu era Lawrence înscris nici la fizică, nici la inginerie electrică? De ce studia medicina şi chimia? Convins că Lawrence avea geniu în domeniul fizicii, i-a dat 100 de dolari pentru a cumpăra echipamentul radio, i-a dat un spațiu unde să-l amplaseze şi l-a lăsat la conducere. Akeley, de formațiune profesională fizician, a avut grijă să nu-l împingă prea tare pe Lawrence astfel încât să schimbe cursul, deoarece credea că studenții buni îşi vor da seama singuri de valoarea fizicii. L-a întrebat timid pe Lawrence dacă crede că fizica ar fi utilă, având în vedere interesele sale în domeniul comunicațiilor fără fir, dar Lawrence nu a crezut că ar fi. Studiase puțină fizică în liceu, dar se îndoia că avea capacitatea de a realiza ceva în acest domeniu.

În ciuda lui, Akeley l-a invitat pe Lawrence la cină şi a început să îl încânte cu poveşti despre marii fizicieni şi aventurile lor: de la Heinrich Hertz, care a văzut legătura dintre lumină şi electricitate şi a devenit prima persoană care a transmis unde fără fir, la Marie Curie şi descoperirea elementelor radioactive. Cele mai palpitante au fost poveştile lui Ernest Rutherford, care a demonstrat că atomul nu era solid până la urmă. Akeley a prezentat aventura care îi aştepta pe exploratorii din domeniu. Aceştia au explorat lumea interioară a materiei şi au desluşit secretele Universului la cele mai mici scări, pe care se construia tot

restul, inclusiv chimia, biologia şi medicina iubite de Lawrence. O minte bine antrenată, a insistat Akeley, îţi dădea capacitatea de a învăţa în orice domeniu, iar fizica îţi putea oferi această pregătire. I-a făcut lui Lawrence o ultimă propunere: dacă petrecea o lună de vară învăţând fizică cu el şi tot nu devenea interesat, Akeley nu i-ar mai fi vorbit niciodată despre această idee din nou.

Lawrence a fost de acord. Până la întoarcerea celorlalţi studenţi, pariul a dat roade.

— Clasă, el este Ernest Lawrence, a anunţat Lewis Akeley într-o zi, la cursul său de fizică. Uitaţi-vă bine la el, pentru că va veni o zi în care veţi fi cu toţii mândri că aţi fost în aceeaşi sală de clasă cu Ernest Lawrence.

Se holbau la tânărul înalt, cu zâmbetul său fermecător, părul şaten-deschis şi îngrijit şi ochii albaştri. Într-o zi, când Lawrence a adormit în clasă, Akeley le-a spus, pur şi simplu, celorlalţi studenţi:

— Nu contează. Lăsaţi-l în pace! Ştie mai multă fizică dormind decât ştiţi voi treji.[2]

Akeley nu avea cum să ştie ce urma să se întâmple, dar cuvintele sale aveau să se dovedească a fi profetice.

În 1928, la vârsta de doar 27 de ani, Ernest a devenit profesor asociat la Universitatea din California. În sfârşit responsabil de propriul program de cercetare, cu libertatea şi încurajarea unei instituţii tinere în spate, nu avea nevoie decât de o întrebare bună de investigat.

În acest punct al poveştii noastre, avem un avantaj faţă de Lawrence, deoarece ştim deja cum stăteau lucrurile în 1928 şi ce avea să se întâmple peste doar câţiva ani. Ştim că teoria lui Gamow va fi un imbold pentru Cockcroft şi Walton să dezvolte acceleratorul lor din Cambridge. Ştim că doar câteva sute de keV de energie sunt suficiente pentru a diviza un nucleu de litiu. Dar Lawrence, precum Cockcroft şi Walton la acea vreme, nu ştia nimic din toate acestea. El

ştia că fizicienii descoperiseră electroni şi raze X şi că atomul avea un nucleu şi era conştient de realităţile contraintuitive ale mecanicii cuantice şi ale dualităţii undă-particulă. Ştia că razele cosmice ne bombardau continuu din spaţiu şi că invenţia lui C.T.R. Wilson a camerei cu ceaţă ne permitea să le studiem, deşi Lawrence nu era interesat în mod deosebit de detectoare la acea vreme.

În timp ce mulţi oameni de ştiinţă studiau razele cosmice, lui Lawrence i s-a părut mai important ca niciodată să poată controla particulele de înaltă energie în laborator. El nu era mulţumit de încercările care se făceau. Vechiul său prieten de la şcoală, Merle Tuve, încerca să îmblânzească tensiuni de până la 1 MV, în timp ce Cockcroft şi Walton şi concurenţii lor făceau acelaşi lucru, dar Lawrence dorea să ştie încotro se va îndrepta cercetarea după ce se va ajunge la 1 MV.

Avea o întreagă carieră în faţa lui; nu voia să pornească pe o cale care să se stingă după doar câţiva ani. Lui Lawrence i se părea că ideea de a folosi tensiuni înalte pentru a accelera particule avea o deficienţă fundamentală. Chiar dacă s-ar putea crea o tensiune utilizabilă de un milion de volţi, tot nu s-ar putea obţine particule dincolo de energiile de 5 MeV ale particulelor alfa emise de surse naturale (cum ar fi radiul), deoarece tensiunea înaltă se traduce direct în energia particulelor. Un milion de volţi ar putea da un milion de eV (1 MeV), dar nu ar putea da niciodată 5 MeV. Dacă misterele atomului urmau să fie vreodată dezvăluite în laborator, cineva trebuia să găsească o metodă practică de a atinge energii mari, zeci sau sute de MeV, fără tensiunile înalte corespunzătoare.

În 1929, Lawrence citea reviste noaptea târziu în biblioteca Universităţii din California. Întâmplător, a luat o revistă de inginerie electrică scrisă în limba germană şi a răsfoit-o până când câteva diagrame şi ecuaţii dintr-un

articol scris de un norvegian pe nume Rolf Widerøe i-au atras atenția. Lawrence nu vorbea germana, dar ideea era suficient de clară pentru a o înțelege.

Lawrence însuşi a descris mai târziu ideea ca fiind atât de simplă, încât chiar şi copiii ar putea să o înțeleagă intuitiv: când te aşezi pe un leagăn, există două moduri de a-l face să se balanseze şi să se ridice cât mai sus în aer. Poți fie să-i dai o singură împingere puternică, fie poți da o serie de împingeri mici la momentul potrivit, crescând treptat oscilația cu ajutorul conceptului de rezonanță. Ideile existente pentru acceleratoare foloseau prima abordare, dar Lawrence şi-a dat seama că a doua metodă era cea pe care trebuia să o aplice. În loc să folosească o singură tensiune foarte înaltă pentru a accelera particulele, diagramele lui Widerøe păreau să sugereze aplicarea unei tensiuni oscilante la o serie de tuburi metalice aliniate cap la cap, cu spații sau „goluri" între ele.

Tensiunea de pe tuburi ar trece de la pozitiv la negativ şi invers de câteva milioane de ori pe secundă, la o valoare relativ modestă. Particulele ar trece prin mijlocul tuburilor metalice ca printr-o țeavă de apă şi numai în spațiile dintre tuburi particulele ar „vedea" tensiunea. [3] Cu o sincronizare corectă, particulele ar primi un mic impuls înainte la fiecare astfel de „gol", la fel ca fiecare împingere mică a unui leagăn. O serie de tuburi, toate alimentate de aceeaşi sursă oscilantă, ar avea nevoie doar de o tensiune modestă, dar energia totală obținută printr-o serie de astfel de tuburi ar putea fi foarte mare.

Ideea lui Widerøe era bună, cu excepția unei hibe fundamentale. Pentru a atinge energii înalte, linia de tuburi ar trebui să fie incredibil de lungă. Ce-ar fi dacă, în loc să aibă mai multe tuburi la rând, Lawrence ar putea să îndoaie particulele într-un cerc şi să reutilizeze acelaşi „gol" de accelerare de mai multe ori? Putea folosi conceptul de

accelerare rezonantă pentru a crea, după cum s-a exprimat, un carusel de protoni.

În graba de a verifica dacă ideea să ar putea funcționa, Lawrence a luat un şervețel de hârtie şi a început să mâzgălească ecuațiile. Ştia că va putea să îndoaie particulele cu ajutorul unui câmp magnetic, folosind faptul, de mult timp înțeles, că forța unui magnet poate împinge particulele în unghiuri drepte față de direcția lor de deplasare. La fiecare rotire, particulele ar câştiga un plus de energie, spiralând în exterior în cercuri mai mari pe măsură ce se mişcă mai repede. Lucrând la ecuații, şi-a dat seama că viteza mai mare a particulelor pe fiecare cerc mai mare ar compensa exact drumul mai lung pe care trebuie să-l urmeze, astfel încât timpul necesar pentru a reveni la golul de tensiune ar rămâne acelaşi la fiecare rotație. Acest lucru însemna că putea folosi o tensiune care să oscileze cu o frecvență constantă, ceea ce ar fi fost uşor de proiectat. Era aproape prea frumos ca să fie adevărat.

S-a grăbit să se întoarcă la clubul facultății şi l-a rugat pe primul matematician pe care l-a găsit, Donald Shane, să-i verifice rapid calculele. Shane i-a confirmat corectitudinea calculelor, apoi s-a uitat la Lawrence şi l-a întrebat:

— Dar ce ai de gând să faci cu aceste calcule? [4]

— Am de gând să bombardez şi să sparg atomi! a răspuns Lawrence.

Era o idee atât de simplă şi de elegantă, încât Lawrence s-a întrebat de ce nu se gândise nimeni la ea până atunci. În ciuda entuziasmului său, nu s-a apucat imediat să construiască nimic, deoarece îşi făcuse deja planuri de a călători prin țară. A mers la Washington pentru întâlnirea Societății de Fizică, apoi la Boston pentru a-l vedea pe fratele său, John, înainte de a merge la General Electric în Schenectady, New York, unde promisese să petreacă două

luni. Pe drum, a ținut conferințe și a luat masa cu mulți fizicieni de elită, inclusiv cu Robert Millikan.

Peste tot pe unde mergea, vorbea oricui îl asculta despre noua sa idee.

Cei mai mulți dintre ei se gândeau la un motiv pentru care ideea să nu ar fi funcționat. Spuneau că nu exista nicio modalitate de a concentra particulele într-un astfel de dispozitiv, astfel încât acesta nu ar putea niciodată să atace ceva atât de mic precum un nucleu atomic. Considerau că particulele nu ar respecta niciodată traiectoria în formă de spirală sau ar zbura pe verticală și s-ar izbi de cameră, pierzându-se. Ei se întrebau cum plănuia Lawrence să scoată particulele din aparat, deși cel puțin în acest punct avea câteva idei. Chiar și vechiul său prieten, Merle Tuve, și-a exprimat îndoielile, în timp ce Lawrence, la rândul său, privea cu scepticism utilizarea de către Tuve a unei bobine Tesla mari pentru a accelera particulele. Dar, când s-a întors în California, Lawrence era gata să-și testeze ideea.

Primul doctorand al lui Lawrence la Universitatea din California, Niels Edlefsen, era cu șase ani mai mare decât Lawrence și tocmai își termina teza. Era anul 1930, iar Edlefsen nu se hotărâse încă ce slujbă va accepta după doctorat, așa că s-a trezit cu puțin timp liber. Edlefsen dorea să se concentreze pe munca teoretică și să se pregătească pentru examenul de la sfârșitul doctoratului, dar Lawrence avea alte idei. El a insistat pe lângă Edlefsen că noua sa idee radicală pentru un accelerator de particule era mult mai interesantă decât studiul teoriei și că nu vedea niciun motiv pentru care nu ar putea funcționa. Nici Edlefsen nu vedea nimic în neregulă cu ea și, după ce a mai studiat încă două săptămâni, a cedat, în cele din urmă, și a fost de acord să încerce.

— Bine! a spus Lawrence. Să trecem la treabă. Fă rost imediat de ce ne trebuie.[5]

În primăvara anului 1930, Edlefsen a început cu un flacon de sticlă de mărimea unei sticle de parfum pe care l-a aplatizat şi l-a acoperit cu argint. A răzuit cu grijă o fâşie îngustă de argint pe mijloc, lăsând două zone de argint separate pentru electrozi. Flaconul putea fi golit de aer şi avea deschideri pentru filamentul care producea ioni, pentru introducerea hidrogenului care producea protoni şi pentru o sondă electrică pentru determinarea rezultatelor. Toate deschiderile au fost apoi etanşate cu ceară. Între timp, Lawrence a reuşit să convingă oamenii de care depindea acest lucru şi a obținut permisiunea de a folosi cel mai mare magnet din departament. Ideea era ca flaconul să fie cablat, vidat şi plasat între polii magnetului, ceea ce ar face ca particulele să se rotească în spirală în cerc pe măsură ce capătă energie. În cele din urmă, erau pregătiți să pună la încercare marea idee.

L-au pornit. Sticla s-a crăpat. Camera de sticlă era clar că nu avea să funcționeze.

Fără să se descurajeze, au venit cu o nouă idee. Au luat o cutie mică şi rotundă de cupru, pe care Edlefsen a tăiat-o în două pentru a forma electrozii. Aceştia au fost apoi fixați cu ceară pe placa de sticlă, cele două jumătăți ale cutiei fiind separate de o mică distanță, cu deschiderile paralele, astfel încât să formeze două „D-uri” (numite astfel deoarece au forma a două litere D mari de tipar). Dacă îți imaginezi că iei un fursec mare învelit în cupru, apoi îl rupi pe mijloc şi îndepărtezi fursecul, D-urile arată ca cele două jumătăți ale învelişului de cupru rămase. Un oscilator de radiofrecvență a fost conectat la „D-uri” pentru a produce o tensiune alternativă. Totul era cam dezordonat. După toate discuțiile lui Lawrence, ceilalți membri ai laboratorului nu s-au abținut să-i tachineze pe Edlefsen şi Lawrence în legătură cu aşa-zisa lor maşină puternică de accelerare a particulelor.

Nu este clar dacă Edlefsen a reuşit sau nu să accelereze protoni în dispozitiv. Cel puțin, a reuşit să facă să circule câțiva protoni, dar, înainte de a putea produce rezultate definitive, a trebuit să se mute la postul pe care îl avea pregătit în altă parte. Însă, pentru Lawrence, proiectul era suficient de promițător, încât a pus imediat un nou student să lucreze la acceleratorul rezonant.

Acel student, Milton Stanley Livingston, era fiul unui preot, cu o înfățişare serioasă, care schimbase chimia cu fizica la universitate. Singurul fiu al familiei, crescuse la ferma lor din California, printre unelte şi maşini, ceea ce l-a învățat abilități practice de proiectare şi construire a sistemelor complexe. Aceste abilități urmau să fie puse la încercare acum, când lucra la dispozitivul care avea să fie cunoscut sub numele de „ciclotron”.

Livingston a realizat un dispozitiv micuț, care putea încăpea în palma mâinii şi care era similar cu încercarea lui Edlefsen, deşi puțin mai îngrijit. Avea doar 11 centimetri în diametru, era făcut din alamă şi etanşat cu ceară, iar producția lui a costat cam 25 de dolari. Livingston a progresat rapid şi, în vacanța de Crăciun din 1930, el şi Lawrence au folosit acest model de 11 centimetri şi o tensiune oscilantă de 1 800 V pentru a accelera protoni până la 80 000 eV, demonstrând viabilitatea conceptului. Ciclotronul putea accelera particule până la energii de multe ori mai mari decât tensiunea aplicată, exact aşa cum visase Lawrence în bibliotecă.

Ei au modificat proiectele pe măsură ce le construiau, învățând totul din mers, prin aproximări succesive. Au modificat forma electrozilor şi dimensiunea spațiului dintre ei şi au ajustat uşor magnetul pentru a obține focalizarea, mărind masiv curentul fasciculului. Câteva săptămâni mai târziu, au construit un ciclotron cu un diametru de aproape 30 de centimetri, pentru care au comandat un magnet şi

mai mare. Când l-au pus la punct, Livingston a constatat că au produs protoni care se deplasau cu o viteză de aproape un milion de eV, prin aplicarea a doar 3 000 de volți. Lawrence a început să danseze la propriu prin laborator: în sfârşit, aparatul său putea sparge atomi.

Încă o dată, Lawrence trebuia să călătorească şi, în timp ce era plecat, expunând virtuțile noii sale invenții, care aproape – dar nu chiar – atinsese pragul magic de un milion de volți, Livingston a continuat să lucreze. La 3 august 1931, Lawrence a primit o telegramă prin care era anunțat că recordul fusese, în sfârşit, atins: „Doctorul Livingston m-a rugat să vă anunț că a obținut 1 100 000 de protoni volți. El mi-a sugerat, de asemenea, să adaug «Ura!» „

Când a primit vestea, Lawrence se afla în vizită la prietena sa, Molly Blumer. A citit telegrama pentru familia ei. În timp ce aceştia încă îl felicitau, el a însoțit-o pe Molly afară şi a cerut-o în căsătorie. Ea a acceptat, cu condiția să îşi termine studiile la Harvard înainte de nuntă. Apoi s-a grăbit să se întoarcă în laborator şi a petrecut zilele următoare cu Livingston, demonstrând funcționarea invenției tuturor colegilor şi prietenilor care doreau să o vadă. Cu o maşină relativ mică şi ieftină, ei depăşiseră energia obținută de generatorul lui Cockcroft şi Walton, de mărimea unei camere.

Dacă în acest moment ar fi reuşit, de fapt, ceea ce Lawrence îşi propusese să facă de la bun început – să spargă atomi –, atunci istoria fizicii nucleare ar fi arătat oarecum diferit. În schimb, echipa sa de aproximativ zece fizicieni şi ingineri era hotărâtă să atingă energii din ce în ce mai mari. Stimulați de entuziasmul contagios al lui Lawrence, au construit maşini mai mari, mai întâi un ciclotron de 27 de inchi (69 de centimetri), cu ajutorul magnetului mare donat de Federal Telegraph Company, care a fost rapid reproiectat ca o versiune de 37 de inchi (94 de

centimetri). În scurt timp, au ajuns la 2 000 000 de eV protoni.

De ce nu au folosit ciclotroanele pentru a face ştiinţă? De ce au fost atât de preocupaţi să construiască instrumente din ce în ce mai mari? Reuşind să construiască ciclotronul, ei au inventat, de fapt, un domeniu complet nou al fizicii, propriul meu domeniu, fizica acceleratoarelor. Şi-au dat seama despre controlul şi manipularea fasciculelor de particule încărcate că reprezentau un domeniu de cercetare fascinant în sine şi că progresul în acest domeniu va asigura progresul viitor al fizicii, aşa cum a prezis Lawrence că se va întâmpla dacă cercetătorii ar fi fost limitaţi de tensiuni ridicate. Reuşind să accelereze fascicule cu ciclotronul, ei şi-au dezamăgit deja numeroşii detractori care spuneau că nu va fi posibil. Acum trebuiau să se străduiască să înţeleagă exact cum funcţionează şi cum să îl îmbunătăţească, ceea ce presupunea cunoştinţe detaliate despre fizica şi comportamentul particulelor încărcate. Ei au depăşit atât de mult limitele tehnologiei, încât au creat noi cunoştinţe în domeniul fizicii şi al ingineriei: felul în care fasciculele de particule subatomice creează câmpuri electrice şi magnetice şi cum interacţionează cu ele, cum se pot proiecta electromagneţi cu proprietăţi precise şi cum se pot focaliza, transporta şi măsura fascicule de particule subatomice invizibile cu ochiul liber.

Entuziasmul lui Lawrence şi Livingston de a perfecţiona aparatul a făcut ca echipa să rateze o serie de descoperiri importante. În 1932, chiar în momentul în care ciclotronul câştiga cursa în domeniul energiilor înalte, ei au fost – din punct de vedere ştiinţific – întrecuţi categoric de cei cu experimente mai simple. Chadwick a descoperit neutronul şi a măsurat masa acestuia ca fiind foarte apropiată de cea a protonului. La Universitatea Columbia, Harold Urey a descoperit un nou izotop al hidrogenului, cu o singură

sarcină electrică, dar cu o masă dublă față de cea obișnuită, numit deuteriu. În același an, Anderson a folosit o cameră cu ceață pentru a descoperi pozitronul. Apoi, în aprilie, a venit vestea cea mare: Cockcroft și Walton au reușit să spargă atomii pentru prima dată. Echipa lui Lawrence a configurat rapid ciclotronul cu o țintă de litiu, pentru a reproduce aceleași rezultate. În doar două săptămâni, au extins cu ușurință rezultatele obținute cu protonul pe litiu până la 1,5 MeV, aproape de două ori mai mult decât energia pe care o putea atinge Cavendish. Conform teoriei lui Gamow privind efectul de tunel cuantic, au descoperit că energiile mai mari au crescut și mai mult rata de reacție. Chiar dacă nu au fost primii, cel puțin au avut dreptate când au crezut că energiile mari le vor permite să dezintegreze mai eficient atomii. Acum, având la dispoziție cele mai mari energii din domeniu, au intrat în cursă.

Ciclotronienii, așa cum au devenit cunoscuți, au decis să creeze un experiment pe care nimeni altcineva nu îl putea face. Au cerut departamentului de chimie al universității să producă deuteriu, sau „hidrogen greu”. L-au pus în sursa lor de ioni pentru a elimina electronii și a produce deuteroni (nuclee de deuteriu) pe care să-i folosească ca proiectile în ciclotron. Având un proton și un neutron, s-au gândit că deuteronii mai grei ar fi o modalitate mai puternică de a penetra nucleul decât protonii. Pe la 1933, se aflau într-un teritoriu doar al lor și produceau rezultate care erau de-a dreptul năucitoare. Toate elementele pe care le bombardau cu deuteroni păreau să producă rate de reacție enorme, mult mai mari decât cele pe care le puteau realiza cu protoni. Reacțiile produceau întotdeauna neutroni și protoni cu cantități surprinzătoare de energie. Singura concluzie, potrivit lui Lawrence, era că deuteronul se dezintegrează. Dacă acest lucru era adevărat, el a calculat că neutronul ar putea fi mult mai ușor decât îl măsurase Chadwick.

Înainte de a putea găsi soluția, a sosit o invitație. Lawrence a fost invitat să participe la Conferința Solvay, din 1933, de la Bruxelles, întâlnirea celor mai mari nume din domeniul fizicii nucleare. La început, Lawrence nu intenționa să participe, din cauză că avea foarte multe cursuri de predat, dar invitația a fost o onoare atât de mare pentru laboratorul său şi pentru universitate, încât aceştia i- au permis să renunțe la o parte din cursuri şi au fost de acord să îl trimită la clasa întâi pe o navă. Pentru a se pregăti, Lawrence a adunat toate rezultatele pe care le-a putut obține cu privire la experimentele cu deuteroni.

La Bruxelles, Lawrence se afla printre cele mai mari nume din fizică, de la Albert Einstein la Marie şi Irène Curie şi, bineînțeles, lordul Rutherford. Când i-a venit rândul, Lawrence a vorbit despre marea promisiune a ciclotronului şi şi-a prezentat rezultatele experimentelor cu deuteroni. Cu toate acestea, departe de a face impresia puternică pe care o anticipase, majoritatea celorlalți au fost sceptici sau, în cel mai bun caz, au crezut că trebuie să fi făcut o greşeală. Rutherford, acum autointitulat bunicul fizicii nucleare, a fost de acord cu ei. În ciuda acestui fapt, l-a simpatizat pe vorbărețul deschizător de drumuri. L-a bătut pe umăr pe Chadwick, care probabil nu a fost prea impresionat de tânărul american, şi a spus:

— Este exact cum eram eu la vârsta lui!

Ulterior, echipa Cavendish a demonstrat, cu ajutorul acceleratorului Cockcroft şi Walton, că deuteronii formau un strat de hidrogen greu pe suprafața țintei.

Reacțiile pe care echipa lui Lawrence le observase erau deuteroni care se loveau de alți deuteroni, nu elemente ale țintei care se dezintegrau. Acest lucru explica de ce rezultatele arătau similar pentru fiecare material țintă, iar la calcularea masei neutronilor, având în vedere reacția corectă, masa neutronului s-a dovedit a fi sigură. Lawrence,

aspru criticat, le-a scris tuturor celor implicați cerându-şi scuze pentru greşeală. În fața echipei sale, el a insistat că „știința se poate dezvolta şi prin greşeli”, dar acum îşi învățase lecția. În viitor, va trebui să fie mult mai atent.

*

O parte din motivul pentru care Lawrence şi Livingston nu reuşeau să se descurce era lipsa dispozitivelor de detectare şi numărare a particulelor – singurul lucru care, cu siguranță, nu lipsea din Laboratorul Cavendish. Echipa lui Lawrence a încercat să dezvolte un contor Geiger, dar a abandonat două încercări, deoarece contoarele păreau să fie afectate de un zgomot de fond prea ridicat. Nu aveau nici camere cu ceață, aşa că măsurătorile lor erau destul de rudimentare, chiar dacă ciclotronul putea produce energii mult mai mari decât alte aparate.

După ce au lăsat în urmă Conferința Solvay şi fiascoul deuteronului, Lawrence şi Livingston s-au apucat din nou de treabă, la fel ca toți concurenții lor din laboratoarele din întreaga lume. În 1934, Lawrence a intrat grăbit în laborator, fluturând un exemplar al unei reviste franceze. După ce şi-a tras răsuflarea, el şi-a informat echipa de ultimele noutăți: la Paris, Irène Curie şi Frédéric Joliot au indus radioactivitate prin utilizarea de particule alfa naturale pe ținte confecționate din elemente uşoare. Nici măcar nu au folosit un accelerator.

Dându-şi seama că aveau în față toate elementele unei versiuni produse artificial a aceluiaşi experiment, Livingston povesteşte că: „am făcut ținta din carbon, am reglat circuitele contorului şi apoi am bombardat ținta timp de cinci minute [...]

Contorul a fost pornit şi clic-clic--clic-clic-clic. Observam radioactivitatea indusă la mai puțin de o jumătate de oră după ce am auzit de rezultatele Curie-Joliot”.

Echipa lui Lawrence era atât de concentrată pe dezvoltarea tehnologiei ciclotronului, încât a ratat şi ocazia de a fi prima care a detectat radioactivitatea indusă artificial. Cel puțin, de data aceasta, nu au fost singurii, deoarece Cavendish şi toate celelalte laboratoare cu accelerator au ratat şi ele acest lucru.

Aceştia îşi conectaseră contorul Geiger la acelaşi întrerupător ca şi acceleratorul, astfel încât, de îndată ce fasciculul era oprit, se oprea şi contorul. Dacă l-ar fi lăsat pornit, şi-ar fi dat seama încă de la primele lor experimente că ciclotronul producea elemente radioactive. Cel puțin acum puteau înțelege motivul pentru care nu reuşiseră să creeze un contor Geiger fiabil: întregul laborator era radioactiv.[7]

Cu ajutorul rezultatelor obținute de Curie şi Joliot, Lawrence şi-a dat seama că puteau fi produse zeci de noi elemente radioactive. Folosind ciclotronul, ei puteau bombarda diferite elemente cu protoni sau deuteroni, schimbând numărul neutronilor şi al protonilor şi producând izotopi radioactivi. Acum puteau trece dincolo de elementele radioactive naturale. Puteau recrea reacțiile din stele care au produs aceste elemente. Sau chiar să creeze elemente şi izotopi radioactivi care nu se mai găsesc pe Pământ sau din care rămăseseră cantități foarte mici în urma dezintegrării.

O echipă mai puțin motivată, cu un lider mai puțin inspirat, ar fi fost descurajată de faptul că ciclotronul lor a fost devansat de Cockcroft şi Walton – cu doar câteva săptămâni – în cursa pentru divizarea atomului şi apoi în identificarea producției de radioactivitate indusă artificial. Irène Curie şi Frédéric Joliot au primit premiul Nobel pentru chimie pentru descoperirea lor doar un an mai târziu. Dar dacă era invidios pe succesul celorlalți, Lawrence nu a arătat acest lucru. „Există destule descoperiri pentru toată

lumea", le spunea el studenților săi. [8] În plus, nu voia să facă schimb de locuri cu Cockcroft şi Walton sau cu Curie şi Joliot, pentru că acum crease o maşină care îi putea depăşi pe toți.

La o zi sau două de la rezultatul Curie-Joliot din 1934, Lawrence a descoperit sodiul radioactiv prin bombardarea cu deuteroni a unei ținte de clorură de sodiu (sare de masă). Ciclotronul putea produce milioane de atomi de sodiu radioactiv pe secundă, care apoi se dezintegrau cu un timp de înjumătățire de 15,5 ore, emițând electroni şi raze gamma. Încă o dată, a constatat că, cu cât energia fasciculului de ciclotron era mai mare, cu atât mai mare era producția de sodiu radioactiv. Radiofosforul a urmat rapid. Ne putem doar imagina entuziasmul pe care trebuie să-l fi simțit, ştiind că, pe măsură ce construia maşini cu energie mai mare, lumea radioelementelor se deschidea în fața lui. Se puteau găsi zeci, dacă nu sute, de noi substanțe radioactive. În mijlocul acestui entuziasm, s-a gândit că, poate, aceste noi elemente radioactive s-ar putea dovedi utile pentru societate.

Lawrence i-a scris fratelui său mai mic, John, care era în acel moment doctor în medicină, specializat în hematologie. În vara anului 1935, John Lawrence a sosit la „Rad Lab" – aşa cum era cunoscut laboratorul de radiații – în vacanță de la Universitatea Yale, îndemnat de Ernest să vadă ce ar putea face cu noii radioizotopi în domeniul medical. Se ştia deja că razele X aveau potențialul de a ucide celulele umane, oferind un posibil viitor tratament pentru cancer, dar nimeni nu încercase încă să folosească radioizotopi. Deoarece noii izotopi aveau aceleaşi proprietăți chimice ca omologii lor neradioactivi, John şi-a dat seama că sistemele organismului ar putea trata elementele radioactive la fel ca pe cele normale. De exemplu, sarea făcută din sodiu radioactiv ar fi procesată la fel ca sarea obişnuită. El ar

putea apoi să folosească proprietățile radioactive pentru a interacționa cu organismul sau poate chiar pentru a detecta radiațiile care apar pentru a vedea procesele din interiorul organelor, fără a fi nevoie să facă o singură incizie în piele.

John a început prin a folosi fosforul-32 radioactiv produs de ciclotron pentru a studia metabolismul animalelor. Fosforul este al doilea cel mai abundent mineral din organism după calciu, reprezentând 1% din greutatea corporală, şi este implicat în formarea oaselor şi a dinților, printre multe alte funcții. A pregătit un grup de şoareci cu leucemie şi le-a injectat fosfor radioactiv, apoi a plecat la pescuit pe râul local. Două săptămâni mai târziu, s-a întors şi a constatat că grupul de şoareci pe care îl injectase era viu şi aparent sănătos, în timp ce toți şoarecii din grupul de „control", care nu fuseseră injectați, erau morți. În câteva luni, a testat fosforul radioactiv pe pacienți umani, cu rezultate impresionante – fosforul a contribuit la remisiunea bolii lor.

Puțin mai târziu, John şi Ernest au testat împreună ce s-ar întâmpla cu un şobolan dacă acesta ar primi radiații externe. L-au pus în ciclotron, în camera de fascicule care se afla între polii magnetici superior şi inferior, lângă o țintă de beriliu, şi au pornit fasciculul la o doză foarte mică. După aproximativ un minut, John a cerut ca ciclotronul să fie oprit pentru a putea verifica cum se simte şobolanul. Acesta era mort. Evenimentul a îngrozit echipa ciclotronului, care s-a temut că efectele biologice ale iradierii ar putea fi mult mai grave decât ştiau. Au îmbunătățit ecranarea din jurul ciclotronului. Mai târziu, John şi-a dat seama că şobolanul nu murise din cauza radiațiilor, ci din cauza sufocării: fusese plasat în recipientul cu vid şi tot aerul fusese scos pentru experiment. În ciuda acestui fapt, a apărut brusc un mare interes pentru efectele radiațiilor asupra oamenilor, atât pozitive, cât şi negative. [1] Experimentele au fost

suficient de promițătoare pentru ca, în anul următor, John să se mute la Universitatea din California, să-şi înființeze propriul laborator şi propria echipă, iar cei doi frați au lucrat împreună mulți ani.

Dacă ai fi trecut prin Laboratorul Rad în acele zile, ar fi fost un loc foarte aglomerat. În acelaşi spațiu se aflau cuşti pline de şoareci, laboratoare pentru experimente privind separarea chimică şi aparate electrice pentru fizicieni, ca să nu mai vorbim de ciclotron şi de ecranarea acestuia. Te-ai fi aflat nu doar printre fizicieni, ci şi printre experți din mai multe domenii, inclusiv ingineri, chimişti şi oameni de ştiință din domeniul biomedical, printre alții. Lawrence nu îşi permitea întotdeauna să îi plătească – mulți s-au alăturat, pur şi simplu, din entuziasm pentru muncă. Noile aplicații medicale l-au ajutat foarte mult în atragerea de bani, ceea ce a fost deosebit de important în timpul Marii crize economice. Lucrările la sodiul radioactiv fuseseră făcute cu un ciclotron de 27 de inchi (cca. 68,5 cm) care producea deuteroni de 6 MeV cu un curent relativ modest, dar în 1937 ciclotronul a fost modernizat cu un aparat de 37 de inchi (cca. 94 cm), cu un curent dublu şi o energie a fasciculului de 8 MeV. Cu acesta, cercetătorii din domeniul medical aveau suficient sodiu radioactiv şi radiofosfor pentru munca lor, în timp ce fizicienii aveau, de asemenea, un fascicul suficient de energic pentru a efectua lucrări minuțioase în domeniul fizicii nucleare.

Într-o zi obişnuită, ciclotronul bombarda o țintă, care era înmânată cuiva din departamentul de chimie, iar acesta făcea munca de separare chimică. Aceasta presupunea, de obicei, dizolvarea țintei şi apoi distilarea acesteia pentru a separa substanțele chimice în funcție de punctul lor de fierbere. Uneori, separarea elementelor dizolvate necesita alte tehnici, cum ar fi adăugarea de substanțe chimice suplimentare pentru a forța elementul să ia din nou forma

unui solid sau separarea elementelor cu ajutorul cromatografiei. După ce se face acest lucru, fizicianul preia din nou sarcina, folosind un electroscop sau un alt instrument pentru a măsura activitatea şi timpul de înjumătățire al produselor. Folosind această metodă, chimistul Glenn Seaborg a descoperit, în 1937, un nou izotop radioactiv al fierului, fier-59, care a devenit imediat util în studiul bolilor de sânge.

John şi Ernest au văzut cel mai mare potențial în aplicațiile directe ale radiațiilor în tratamentul cancerului. Ei au folosit neutroni pentru a efectua experimente care s-au dovedit a fi promițătoare. De asemenea, au studiat razele X de înaltă energie produse cu ajutorul unui accelerator liniar construit de colegul lui Lawrence, David Sloane. În 1937, John şi Ernest au primit vestea că mama lor suferea de cancer uterin şi că i se mai dădeau doar câteva luni de trăit. Clinica la care se afla – clinica Mayo – nu a vrut să o trateze cu radiații, dar frații s-au ocupat personal de problemă, cerându-i unuia dintre medicii care lucrau cu John să îi ajute să o trateze pe mama lor folosind raze X. După cum spunea John Lawrence mai târziu într-un interviu de istorie orală, „ca să nu mai lungesc povestea, această tumoare masivă a început să se evapore”. Avea aproximativ 67 de ani la acea vreme şi a trăit până la 83 de ani. Vom reveni la conceptul de radioterapie mult mai detaliat în capitolul 10.

În 1938, Seaborg a descoperit cobaltul 60, un emițător intens de raze gamma, cu un timp de înjumătățire de 5,3 ani, care ulterior şi-a găsit o aplicare considerabilă ca sursă de radiații, în perioada de maximă utilizare furnizând anual 4 milioane de iradieri terapeutice numai în Statele Unite ale Americii. Este încă utilizat pe scară largă în medicină şi în sectorul industrial ca sursă de radiații bine reglementată. [11] În acelaşi an, o discuție cu un medic l-a făcut pe Seaborg să ia cunoştință de studiile privind metabolismul tiroidian care

foloseau iod-128, al cărui timp de înjumătățire de numai 25 de minute limita studiile. Medicul a spus că ar prefera un element cu un timp de înjumătățire de aproximativ o săptămână.

Seaborg şi colegii săi au identificat rapid iodul-131, care avea, întâmplător, un timp de înjumătățire de aproximativ opt zile. Ciclotronul oferea un teren atât de bogat pentru descoperiri, încât era ca şi cum ar fi putut inventa noi izotopi la cerere. În prezent, iodul-131 este utilizat de milioane de ori pe an pentru diagnosticarea şi tratamentul bolilor tiroidiene, pentru diagnosticarea afecțiunilor renale şi hepatice şi pentru testele funcționale ale organelor. Însăşi mama lui Seaborg a fost tratată cu iod-131 şi, ca urmare, viața ei s-a prelungit cu mulți ani.

Pe măsură ce numărul utilizărilor medicale creştea, fizicienii au continuat să forțeze limitele pentru a găsi noi radioelemente şi pentru a pune cap la cap ceea ce învățau despre structura nucleului şi despre numeroasele moduri în care acesta se putea constitui. Aceştia puteau crea nu doar izotopi radioactivi ai elementelor cunoscute, ci şi elemente care nu mai fuseseră observate niciodată în natură, pentru a umple golurile din tabelul periodic al elementelor. Primul element complet nou, descoperit în 1937, a fost technețiul (număr atomic 43).

Acesta a fost izolat de Emilio Segrè în Italia, după ce a vizitat Rad Lab şi l-a convins pe Lawrence să-i trimită prin poştă o folie subțire de molibden care făcuse parte din ciclotron, pentru a vedea dacă poate determina ce tip de elemente radioactive erau prezente. După o serie de separări şi purificări chimice, Segrè şi colegul său, Carlo Perrier, au găsit dovezi privind existența a doi izotopi de technețiu: technețiu-95m (cu un timp de înjumătățire de şase zile) şi technețiu-97m (timp de înjumătățire de 91 de zile).

Fiecare izotop al technețiului este radioactiv şi, deoarece izotopul natural predominant, technețiu-99, are un timp de înjumătățire de 211 000 de ani, este foarte greu de găsit în natură, deoarece, practic, s-a descompus în totalitate de la începutul existenței Pământului. [12] Dar cu ciclotronul a fost uşor de creat. În 1938, Segrè s-a mutat în Statele Unite şi a colaborat cu Glenn Seaborg, folosind ciclotronul pentru a confirma existența unui alt izotop al noului element, technețiu-99m. Acest izotop are un timp de înjumătățire mai scurt, de aproximativ şase ore, şi reprezintă o etapă în dezintegrarea unui nucleu de technețiu în timpul căreia sunt emise raze gamma.

Technețiu-99m s-a dovedit a fi un izotop extrem de important pentru diagnosticarea medicală şi a fost folosit prima dată pentru a face o scanare medicală a ficatului în 1963. Până la sfârşitul anilor 1990, acesta era utilizat în peste 10 milioane de proceduri de diagnosticare pe an numai în Statele Unite, pentru a obține imagini ale funcției tiroidei, creierului, ficatului, splinei şi măduvei osoase, printre alte părți ale corpului. Cererea nu a făcut decât să crească, iar acesta rămâne cel mai utilizat radiotrasor medical la nivel mondial.

Seaborg şi Segrè nu au avut nici cea mai vagă idee cu privire la potențialul său de aplicare în medicină atunci când făceau testele. [13]

Celelalte trei elemente lipsă din tabelul periodic al lui Mendeleev au fost completate în următorii câțiva ani. Toate cele patru elemente lipsă s-au dovedit a fi radioactive, ceea ce explică de ce nu au fost detectate, deoarece mai existau foarte puține elemente naturale pe Pământ. Cel mai longeviv izotop al franciului-233 are un timp de înjumătățire de doar 22 minute (descoperit în 1939 de Marguerite Perey la Paris), în timp ce cel al astatiniului-210 este de 8,1 ore (descoperit în 1940 de Corson, Mackenzie şi Segrè în California), iar cel

al promețiului-145 este de 17,7 ani (descoperit în 1945 de Marinsky, Glendenin şi Coryell în Tennessee). Odată ce tabelul periodic a fost completat, ciclotronul le-a permis fizicienilor de la Berkeley să meargă dincolo de el. De-a lungul anilor, Seaborg şi alți fizicieni aveau să creeze elemente din ce în ce mai grele, impulsionați de întrebarea câți neutroni şi protoni pot fi ținuți împreună într-un nucleu şi în ce condiții sunt stabili sau instabili. Seaborg a primit premiul Nobel pentru chimie în 1951 pentru descoperirea elementelor transuranice plutoniu, americiu, curiu, berkeliu şi californiu. Seaborg şi colegii săi de la Berkeley vor sintetiza mai târziu einsteiniul, fermiul, mendeleeviul, nobeliul şi, bineînțeles, seaborgiul, numit după el.

Datorită ciclotronului şi a altor acceleratoare, tabelul periodic s-a extins masiv de la momentul în care uraniul (număr atomic 92) era cel mai greu element cunoscut. În prezent, cel mai greu element realizat într-un laborator este ununoctiu (118), cunoscut şi sub numele de oganeson, după numele celui care l-a descoperit, Yuri Oganessian. Acesta a fost produs în 2016 la Dubna, Rusia, şi până în prezent au fost realizați doar patru atomi din el, astfel încât proprietățile sale chimice şi fizice sunt încă în curs de a fi înțelese. Cercetările privind formarea elementelor supergrele sunt esențiale pentru a înțelege crearea elementelor grele în Universul timpuriu şi continuă încă în multe laboratoare din întreaga lume.

Tabelul periodic prezintă elementele aranjate în funcție de numărul atomic sau de numărul de protoni, dar, după extinderea enormă a radioizotopilor cu ajutorul ciclotronului, există acum o a doua versiune, „tabelul nuclizilor” – cunoscut şi sub numele de graficul Segrè –, în care numărul de neutroni este reprezentat pe axa orizontală, iar numărul de protoni, pe axa verticală. Elementele stabile din tabelul periodic se află pe o linie aproximativ diagonală,

dar în jurul lor este acum trasată o bandă largă de configurații nucleare exotice şi instabile, cunoscute sub numele de nuclizi, aranjate şi colorate în funcție de tipul de radiație pe care o emit atunci când se dezintegrează.

La Berkeley, pe măsură ce ciclotroanele deveneau din ce în ce mai puternice, a fost finanțat un nou laborator, inaugurat în 1939. Laboratorul Crocker adăpostea o instalație de 60 de inchi (cca. 162 cm), iar echipa lui Lawrence număra acum 60 de persoane pentru a construi şi a face să funcționeze ciclotroanele.

Ocazional, acestea consumau atât de multă energie, încât provocau pene de curent în oraş. Cumva, în mijlocul acestei munci frenetice, Lawrence şi-a găsit timp să meargă la Stockholm, pentru a primi premiul Nobel pentru fizică în 1939. De asemenea, descoperirile au continuat să apară, inclusiv descoperirea carbonului 14, un izotop esențial pentru datarea cu carbon. Pe măsură ce tensiunile au crescut în întreaga lume în 1939 şi 1940, Lawrence a planificat şi a construit o maşină şi mai mare, concepută pentru a depăşi pentru prima dată bariera energetică de 100 MeV. Obținerea acestei energii mai mari a necesitat un magnet mult mai mare pentru a restrânge fasciculul. Pentru a dubla energia, greutatea magnetului trebuia să crească de opt ori, iar acesta ar fi avut nevoie de la fel de mult fier ca o navă de război. Uriaşa instalație de 184 de inchi (cca. 467 cm), apogeul ingineriei ciclotroanelor, a fost construită pe un nou amplasament, mai la deal față de locul unde se afla inițial Rad Lab, şi era încă în construcție când a izbucnit cel de-al Doilea Război Mondial.

În timpul războiului, mulți fizicieni, printre care Lawrence, au fost recrutați pentru a înțelege cum poate fi eliberată energia din nuclee ca să fie utilizată într-o armă, iar noul ciclotron uriaş a fost comandat pentru război. Între timp, John Lawrence a contribuit prin dezvoltarea unor

tehnici de imagistică ce foloseau gaze radioactive la studiul funcționării interne a corpului uman. Împreună cu Cornelius Tobias, unul dintre studenții lui Ernest Lawrence, a folosit izotopi radioactivi ai gazelor azot, argon, kripton şi xenon (produşi cu ajutorul ciclotronului de 60 de inchi) pentru a descoperi natura bolii de decompresie.

Acest lucru se întâmpla înainte ca aviatorii să poarte costume presurizate. În prezent, gazul kripton radioactiv este încă folosit în spitale pentru a realiza imagini ale pacienților în timp ce respiră.

Cel mai probabil, locul unde vei găsi astăzi un ciclotron nu este într-un laborator mare, ci în subsolul unui spital. În prezent, sunt create şi utilizate în mod obişnuit în medicină peste 50 de tipuri de radioizotopi, iar aproape toate spitalele mari au un departament de medicină nucleară. Există radioizotopi care pot trata boli şi pot diagnostica atunci când sistemul endocrin, fluxul sangvin sau alte funcții ale organelor nu funcționează corect. Dacă vei avea vreodată nevoie de o „imagine" a funcției tiroidei, a oaselor, a inimii sau a ficatului, sunt şanse mari să fie folosită o tehnică ce a fost creată de frații Lawrence şi echipa lor. În întreaga lume, în fiecare an sunt efectuate între 15 şi 20 de milioane de astfel de „scanări" – aproximativ una la o sută de persoane în țările dezvoltate.

Fără colaborarea dintre John şi Ernest Lawrence, fără încercarea de a sparge atomii cu acceleratoare de particule din ce în ce mai mari şi fără colaborarea interdisciplinară, nimic din toate acestea nu s-ar fi întâmplat. Seaborg a declarat mai târziu că, atunci când lucra la identificarea radioizotopilor, nu avea nicio bănuială cu privire la aplicațiile clinice finale, atât de benefice. Cu siguranță, Lawrence nu a avut nicio intenție de a construi o maşină care să transforme medicina. John şi Ernest, când erau tineri, nu aveau nicio intenție de a lucra împreună aşa cum

au făcut-o. Cu toate acestea, Lawrence şi laboratorul său aveau să fie consideraţi mai târziu pionieri ai colaborării multidisciplinare şi fondatorii epocii Big Science.

Inspiraţia pe care a avut-o Lawrence de a face un accelerator circular a deschis calea pentru energii mai mari decât cele care ar fi putut fi atinse vreodată înainte.

Decenii întregi, ciclotronul a fost aparatul preferat al fizicienilor nucleari. Chiar şi Chadwick a construit unul la Universitatea din Liverpool, apelând la ajutorul lui Lawrence şi spunându-i că este unul dintre cele mai frumoase instrumente inventate vreodată. Totuşi, cu toate descoperirile şi progresele în medicină, energia fasciculelor de ciclotron era încă mult mai mică decât energia particulelor provenite din razele cosmice şi, în cele din urmă, chiar şi aceste aparate frumoase au început să îşi atingă limitele.

Cantităţile enorme de fier necesare pentru magneţi au făcut tot mai dificilă construirea unor maşini mai mari. Chiar dacă fierul ar fi fost disponibil, ştiau că legile fizicii ar fi dus, în cele din urmă, la eşecul planurilor pentru ciclotroane din ce în ce mai mari. Relativitatea specială a lui Einstein impunea că, pe măsură ce particulele se apropiau de viteza luminii, ele continuau să câştige energie, dar nu mai câştigau viteză. Acest lucru însemna că, odată cu creşterea energiei, particulele din ciclotron se vor desincroniza de impulsurile acceleratoare şi vor rămâne la o limită superioară de poate câteva sute de MeV. Ceva trebuia să se schimbe.

Capitolul 7

Radiaţia sincrotronică: apare o lumină neaşteptată

În 1933, Karl Jansky, inginer de radiocomunicații la Bell Labs, scana cerul în „unde scurte” sau frecvențe radio cu ajutorul unei antene. El încerca să afle dacă există surse de zgomot care ar putea interfera cu semnalele telefonice transmise de compania AT&T peste Atlantic. În schimb, a descoperit un şuierat misterios a ceea ce el a numit poetic „zgomot stelar”, unde radio cosmice care erau cele mai puternice în direcția marginii galaxiei noastre. Milenii întregi, oamenii au privit cerul nopții fără să ştie că văd doar o fracțiune din ceea ce se află acolo, deoarece ochii noştri nu pot vedea dincolo de spectrul vizibil. Descoperirea lui Jansky arăta că o mare parte din lumina provenită din Univers nu se află deloc în spectrul vizibil, ci în spectrul radio.

A fost o coincidență faptul că această descoperire a avut loc tot atunci când fizicienii nucleari învățau despre natură la cele mai mici scări. Cele două domenii – astronomia şi fizica nucleară – păreau la început să nu aibă legătură între ele, până când o descoperire întâmplătoare cu ajutorul acceleratoarelor de particule a dus la crearea unei punți de cunoştințe între cele două. Rezultatul nu a fost doar o mai bună înțelegere a astrofizicii, ci şi instrumente puternice care sunt acum folosite în aproape toate domeniile ştiinței, ale căror descoperiri au avut un impact asupra tuturor vieților noastre.

La început, comunitatea astronomilor a ignorat descoperirea undelor radio cosmice a lui Jansky. Dar un alt inginer radio, Grote Reber, a dat repede curs acestei descoperiri. Reber a finanțat şi a construit primul radiotelescop în Illinois, în 1937, şi a descoperit surse luminoase de unde radio în constelațiile Cygnus şi Cassiopeia. Cu timpul, astronomii au început să fie receptivi, iar acest nou instrument a dus la o schimbare remarcabilă în viziunea noastră asupra cosmosului. Până în

anii 1950 şi 1960, radioastronomia a deschis o perspectivă asupra Universului la care până atunci fuseserăm orbi. Obiectele celeste din jur emiteau unde radio, inclusiv galaxia noastră, Calea Lactee. Astronomul Jesse Greenstein avea să descrie mai târziu pentru New York Times zorii radioastronomiei, care: „au condus la informații care au răsturnat ideea unui univers care se dezvoltă rațional [...] şi au înlocuito cu un cosmos relativist, cu energie foarte mare, cu forțe înfricoşătoare, violente şi incontrolabile, precum găurile negre şi quasarii. A fost o revoluție”.[1]

Radioastronomia a dus la multe descoperiri, cum ar fi cea din 1945 a geologului şi fizicianului Frances Elizabeth Alexander, care a stabilit că semnalele radio proveneau de la Soare. În 1967, Jocelyn Bell-Burnell a descoperit obiecte care emiteau impulsuri intense şi regulate de unde radio, asemănătoare cu un puls de semnalizare extraterestră, ceea ce le-a adus porecla de „omuleții verzi”. Numiți în mod corespunzător, „pulsarii” sunt stele rotative extrem de compacte care emit radiații de la polii lor, de la care astronomii au învățat multe despre procesele ce însoțesc sfârşitul vieții unei stele. Descoperirea pulsarilor a fost considerată atât de importantă, încât a fost recompensată cu premiul Nobel, dar acesta nu a fost primit de Bell-Burnell – se pare că din cauza statutului ei de doctorandă la acea vreme. În schimb, premiul a fost acordat îndrumătorului ei, Antony Hewish.[2]

Astăzi, o mare parte din ceea ce ştim despre cosmologie, găuri negre, supernove şi alte obiecte spectaculoase din Univers provine din decenii de muncă în radioastronomie, dar, în anii 1940, încă stăruia o întrebare importantă la care trebuia găsit un răspuns: cum emit unde radio aceste obiecte din spațiu, de la pulsari până la Calea Lactee? Răspunsul urma să vină de pe Pământ, de la fizicienii care construiau acceleratoare pentru a cerceta atomul.

La începutul anilor 1940, a apărut un nou tip de accelerator de particule, cunoscut sub numele de „betatron”.[3] Sufixul „tron” înseamnă un instrument, în timp ce radiația „beta” este formată din electroni de înaltă energie, exact ceea ce oamenii de ştiință doreau să producă în mod artificial cu noua maşină.

De ce nu puteau folosi un simplu ciclotron? Se pare că acestea sunt excelente pentru protoni şi deuteroni, dar nu sunt foarte bune la accelerarea electronilor.

După cum am văzut în ultimul capitol, ciclotronul este o maşină care se bazează pe un câmp magnetic pentru a curba traiectoria particulelor încărcate într-un cerc şi pe un câmp electric oscilant care împinge particulele şi le accelerează. Fiind cei mai uşori membri ai lumii particulelor, electronii ating foarte uşor viteze apropiate de cea a luminii, iar relativitatea dictează că, deşi pot obține mai multă energie la aceste viteze, nu pot deveni mai rapizi. Acest lucru presupune despre câmpul electric oscilant care acționează asupra „Durilor” ciclotronului că îşi pierde sincronizarea cu electronii şi începe în schimb să îi decelereze. Fizicienii aflați în căutarea de electroni de mare energie pentru generarea de raze X sau pentru experimente de dispersie au rămas blocați. Ideea betatronului a arătat, aşa cum îi plăcea lui Lawrence să spună, că există „mai multe feluri de a face un lucru”.

Betatroanele sunt concepute pentru a funcționa într-un mod destul de diferit de ciclotroane. Acestea folosesc principiul inducției magnetice: adică folosesc ideea că un câmp magnetic variabil induce un curent într-un cerc de sârmă conductoare, la fel cum un aragaz cu inducție generează un curent care încălzeşte o tigaie. Un fascicul de electroni care se deplasează într-un cerc poate acționa ca şi cum ar fi într-o sârmă sau într-o tigaie – astfel, plasarea electronilor într-un câmp magnetic variabil poate da energie

fasciculului, îl poate limita spațial şi focaliza în acelaşi timp, fără să ne mai preocupe sincronizarea tensiunilor oscilante. Această idee a fost, de fapt, aceeaşi pe care tânărul Ernest Walton i-o propusese lui Rutherford la sfârşitul anilor 1920. Încercările lui Walton de a face să funcționeze o astfel de maşină au eşuat, ceea ce a fost unul dintre motivele pentru care a ajuns să construiască un accelerator împreună cu John Cockcroft.[4]

Deşi primele sale experimente au eşuat, Walton a adus contribuții cheie la teoria unei astfel de instalații, inclusiv la descoperirea felului în care particulele pot rămâne pe orbita dorită. Acest lucru este, de fapt, mai dificil de realizat decât s-ar putea crede.

Într-un accelerator circular, scopul este de a menține particulele pe o orbită perfectă pe o traiectorie inelară care se învârte la nesfârşit în interiorul unui tub circular – cunoscut sub numele de „gogoaşă”[2]. [5] Atunci când lucrăm cu un fascicul real de particule, trebuie să ne gândim la ele nu individual, ci ca la o mulțime de particule independente, oricare dintre ele nefiind niciodată perfect în mijlocul tubului. În schimb, fiecare particulă îşi urmează propria traiectorie, care nu se află chiar pe orbita ideală. Walton era îngrijorat, pe bună dreptate, de faptul că, pe măsură ce particulele erau accelerate, ele ar trebui să fie împinse constant înapoi către centrul tubului pentru a nu devia şi a se pierde. El a făcut un calcul detaliat al felului în care se poate face acest lucru, modelând câmpul magnetic pentru a scădea încet pe măsură ce creşte raza, astfel încât câmpul să se umfle în jurul marginii exterioare a inelului. Această configurație, a constatat el, concentrează particulele şi se

[2] Este vorba de gogoaşa americană (donut), care are aproximativ forma unui toroid. (N.r.)

asigură că acestea sunt întotdeauna împinse înapoi înspre orbita ideală.

În 1940, primul betatron funcțional a fost, în sfârşit, realizat de Donald Kerst, în Statele Unite ale Americii, iar noua maşină a devenit rapid o tehnologie promițătoare pentru accelerarea electronilor până la aproximativ 99,99% din viteza luminii. Acum că electronii puteau fi accelerați, s-a găsit rapid o utilizare nu doar în ştiință, ci şi în lumea reală. În special, a apărut o piață în creştere pentru acceleratoarele de particule în medicină şi sectorul industrial. În 1944, fizicianul Herb Pollock a coordonat o echipă de la General Electric Research Laboratory din Schenectady, New York, în construirea unui betatron proiectat să atingă niveluri de energie de 100 MeV. Partea frontală din fier cu nervuri a maşinăriei de 130 de tone se ridica mult deasupra capetelor fizicienilor, semănând mai degrabă cu o navă de luptă decât cu un dispozitiv medical, cu marca „General Electric" afişată pe magnet. Un gol în fier, aproximativ la înălțimea capului, făcea loc pentru recipientul de vid în formă de inel. Aparatul scotea un vâjâit asurzitor atunci când funcționa, în timp ce curenți electrici mari se învârteau în jurul şi prin bobinele electromagnetului, accelerând fascicule de la zero la 100 MeV de şaizeci de ori pe secundă.

Directorul laboratorului de cercetare al GE era fizicianul şi inginerul William Coolidge, al cărui plan era să folosească betatronul pentru a crea raze X de mare energie prin izbirea electronilor de 100 MeV de o țintă, creând un super tub cu raze X ale cărui raze ar putea trece direct prin corp sau prin obiecte industriale pentru imagistică, unde razele X de energie mai mică ar putea fi oprite. El a sperat că acesta va deveni un dispozitiv comercial, după care echipa va construi betatroane din ce în ce mai mari, pe măsură ce piața va creşte. Partea cea mai bună era că nu vedeau nicio limită

pentru energia electronilor pe care o puteau atinge cu un astfel de dispozitiv.

Tocmai când se obişnuiseră să opereze aparatul, John Blewett, un fizician dintr-un alt grup de la GE, a luat cunoştinţă de o teorie care părea să pună o problemă.

Într-o scrisoare către Physical Review, fizicienii Dmitri Ivanenko şi Isaak Pomeranchuk din Uniunea Sovietică semnalaseră că exista o problemă cu accelerarea electronilor într-o maşină circulară. Dacă aplici principiul conservării impulsului la o particulă încărcată care se deplasează pe o traiectorie curbată pe după un colţ, vei descoperi că această curbură trebuie să facă particulele să emită radiaţii. [7] Blewett a repetat calculele şi şi-a dat seama că ruşii aveau dreptate.

Pentru betatronul de 100 MeV, efectul fusese prezis a fi mic. Energia pierdută ar fi fost de doar 10 eV pe revoluţie, astfel încât energia finală a instalaţiei lor ar fi fost de 99 MeV în loc de 100 MeV. Puteau face faţă acestei situaţii. Dar calculele au prezis că, pentru fiecare dublare a energiei electronilor, pierderea de energie ar creşte de şaisprezece ori. Dacă voiau să creeze betatroane mai mari, ar fi fost emise cantităţi mari de radiaţii, pe măsură ce particulele ar fi ajuns la energii mai mari. S-ar pierde atât de multă energie, au spus Ivanenko şi Pomeranchuk, încât mecanismul de accelerare nu ar putea ţine pasul. Cea mai bună limită superioară, au spus ei, era o energie a particulelor de aproximativ 500 MeV. Dacă acest lucru ar fi fost adevărat, ideea betatronului ar fi fost în curând depăşită.

Unii dintre membrii echipei GE erau sceptici în privinţa existenţei unui astfel de efect. La urma urmei, electronii călătoresc prin fire tot timpul şi nu emit radiaţii.

Blewett a insistat să efectueze un test la GE pentru a vedea dacă predicţiile erau adevărate. Aveau la dispoziţie

betatronul de 100 MeV şi era important să excludă acest lucru. Blewett a calculat că orbita ar trebui să se deplaseze puțin din cauza efectului de radiație.

Când au pornit aparatul şi au făcut măsurători, orbita părea, într-adevăr, să fie puțin deplasată. Dar, pe de altă parte, era un aparat complicat şi o deplasare a orbitei putea avea loc din mai multe motive. Dovada incontestabilă ar fi radiația în sine. Au plasat echipamente în jurul maşinii pentru a căuta emisii în spectrul radio, dar nu au găsit nimic.

Întrebarea era încă nerezolvată la sfârşitul anului 1945, când Ernest Lawrence a făcut una dintre vizitele sale regulate la Schenectady şi le-a îndreptat atenția către un nou obiectiv. În cadrul unui seminar, el a prezentat o idee la care lucra echipa sa de la Berkeley. În locul particulelor în spirală din ciclotron, el a propus o maşină cu un fascicul restricționat pe o singură orbită, în care accelerația ar fi asigurată de câmpuri electrice de radiofrecvență, iar puterea magneților s-ar modifica în timp cu accelerația. Ideea fusese recent inventată simultan de Ed MeMillan, colegul lui Lawrence de la Berkeley, şi de Vladimir Veksler din Rusia, concretizând o idee pe care australianul Mark Oliphant[8], unul dintre studenții lui Rutherford, o avusese cu câțiva ani mai devreme. Acest nou concept urma să elimine necesitatea magneților uriaşi ai ciclotroanelor şi betatroanelor, dar reversul medaliei ar fi un principiu de funcționare puțin mai complicat: pe măsură ce viteza particulelor se modifica de la orbită la orbită, frecvența de accelerare ar trebui să varieze în timp pentru a ține pasul. Pentru ca totul să funcționeze, totul ar trebui să fie perfect sincronizat, ceea ce a dat numele instalației – sincrotronul.

În acest moment, fizicienii de la GE începuseră să fie foarte atenți. Aveau deja un betatron, dar erau îngrijorați de faptul că tehnologia atingea o limită superioară de energie

din cauza pierderilor de radiații. Ideea sincrotronului părea interesantă, dar cum ar fi rezolvat problema? Cum ar continua sincrotronul să accelereze electronii la energii mai mari după ce aceştia ar radia?

MeMillan şi Veksler au rezolvat această problemă cu ajutorul principiului stabilității de fază, care se baza pe sincronizarea câmpurilor de radiofrecvență folosite pentru a accelera fasciculul orbită cu orbită. Cel mai simplu este să ne imaginăm mai multe particule încărcate într-un accelerator circular ca pe un grup de surferi care merg pe val (valul de tensiune). Dacă un surfer mai lent are nevoie să accelereze, se poate muta în susul valului, unde curba acestuia este mai abruptă; dacă are nevoie să încetinească, se poate deplasa spre partea de jos a valului. Prin aranjarea corectă a sincronizării în raport cu unda de tensiune furnizată de câmpurile de radiofrecvență, particulele din față (mai rapide) văd o tensiune mai mică decât cele din spate (mai lente) şi rămân grupate.

Acest lucru nu numai că menține mănunchiurile de particule grupate şi accelerând frumos împreună, dar MeMillan susținea şi că ar depăşi orice pierdere de energie din cauza radiației. Acest lucru ar fi ca şi cum ar face surfing împotriva vântului: toți surferii ar trebui să se urce puțin pe val pentru a continua să meargă, dar puteau face asta cu condiția ca valul să fie suficient de înalt.

Rezultatul era că sincrotronul putea depăşi limita de energie de 500 MeV preconizată de Ivanenko şi Pomeranchuk.

Pentru Lawrence, elementul de atracție era clar, deoarece ideea sincrotronului părea scalabilă până la o energie aproape nelimitată, spre deosebire de ciclotronul pe care îl inventase el. Era hotărât să construiască un sincrotron pentru a putea folosi energii înalte şi, de asemenea, pentru a evita cantitățile enorme şi în creştere de fier pe care le

foloseau ciclotroanele sale. Totuşi, în stilul tipic al lui Lawrence, nu construise încă unul: doar le spunea tuturor despre el, în timp ce el şi MeMillan lucrau la planuri. Pentru fizicienii de la GE, seminarul său a clarificat brusc două lucruri. În primul rând, domnia betatronului ar putea fi chiar mai scurtă decât şi-au imaginat – sincrotronul ar putea fi calea spre electroni de foarte mare energie. În al doilea rând, ei ar putea fi capabili să construiască un mic sincrotron înainte ca Lawrence să îl construiască pe al său, fiind astfel primii din lume care demonstrau ideea.

Fizicienii de la GE au obținut imediat aprobarea de a construi un sincrotron de 70 MeV şi au început să proiecteze diversele componente. Magnetul în sine cântărea 8 tone şi avea un spațiu de 6,35 centimetri în mijloc pentru o „gogoaşă" de sticlă circulară cu diametrul de 70 de centimetri prin care se propaga fasciculul. [1] Proiectaseră un circuit de alimentare ingenios care să transfere energie în jurul său pentru a ridica şi a coborî câmpul magnetic la momentul potrivit şi, astfel, pentru a controla particulele. Între timp, Blewett, care plecase de la GE, le lăsase câteva calcule primite de la respectatul teoretician Julian Schwinger, care ofereau câteva informații suplimentare despre radiația preconizată de Ivanenko şi Pomeranchuk.

Schwinger avea să împartă mai târziu premiul Nobel cu Richard Feynman şi Shinichiro Tomonaga pentru dezvoltarea electrodinamicii cuantice (QED) la sfârşitul anilor 1940. Calculul lui Schwinger spunea că radiația emisă de o traiectorie circulară nu ar fi emisă în toate direcțiile; în schimb, ar trebui să formeze un fascicul strâns orientat înainte, de-a lungul traiectoriei particulei. El a preconizat că frecvența radiației va creşte odată cu creşterea energiei electronului. În cele din urmă, el a observat că, la energiile cu care lucrează echipa GE, radiația ar trebui să se

extindă dincolo de domeniul frecvențelor radio, până la frecvențele vizibile.

Sincrotronul a început să funcționeze în octombrie 1946, [11] dar nu a funcționat atât de bine pe cât sperau. Piesele cedau încontinuu şi trebuiau să fie înlocuite, dar au continuat să lucreze, iar, în aprilie 1947, lucrurile mergeau destul de bine, cu excepția unei probleme: se tot observau scântei în aparat. Tehnicianul Floyd Haber a fost trimis să observe sincrotronul când funcționa pentru a încerca să vadă care era problema.

Ar fi fost periculos să stea în apropierea aparatului şi să îl privească în timp ce funcționa, aşa că Haber a montat o oglindă mare, de 180 pe 90 de centimetri, pentru a privi aparatul în timp ce se ascundea în siguranță după colțul zidului gros de beton pentru protecție. Pe măsură ce oamenii de ştiință împingeau limitele maşinii, Haber a strigat că vede scântei şi le-a spus să o oprească. În mod normal, dacă apar scântei, nivelul de vid – presiunea din „gogoaşă” – se schimbă rapid, dar acest caz a fost diferit: nivelul de vid a rămas stabil. Unul dintre fizicieni, Robert Langmuir, a venit şi el să privească şi, împreună, au observat o mică pată albăstruie foarte strălucitoare care venea dinspre sincrotron.

Langmuir şi-a dat seama imediat ce vedea. A cerut cuiva să oprească accelerarea fasciculului şi lumina a dispărut. Trebuia să fie vorba de „radiația Schwinger”.

Uimită de faptul că fasciculul lor de electroni producea lumină vizibilă, echipa a decis rapid să testeze predicția conform căreia culoarea luminii ar trebui să fie legată de energia particulelor. Pe măsură ce au ajustat energia în jos, au observat – cu ceea ce trebuie să fi fost un amestec de satisfacție şi neîncredere – că pata de lumină şi-a schimbat culoarea din albastru în galben şi apoi în roşu, înainte de a dispărea complet. După cum şi-a amintit mai târziu unul

dintre membrii echipei, totul a durat aproximativ treizeci de minute. [12] Din pură întâmplare, noua cameră de vid era făcută din sticlă, astfel încât au putut vedea lumina care ieşea din aparat de la electronii care circulau. Pur şi simplu, nu reuşiseră să vadă acest efect cu trei ani mai devreme în betatronul lor, deoarece camera metalică a fasciculelor blocase lumina. A fost unul dintre acele momente rare de descoperire norocoasă, care avea să aibă un impact major.

Lumina emisă în acest mod se numeşte radiație sincrotronică şi are proprietăți foarte specifice. Poate fi incredibil de intensă, este coerentă (mai degrabă asemănătoare unui laser decât unui bec) şi poate acoperi întregul spectru electromagnetic, de la raze X la infraroşu, trecând prin lumina vizibilă, în funcție de câmpul magnetic şi de energia electronilor. Lumina este, de asemenea, polarizată, adică oscilațiile undelor luminoase au loc toate în aceeaşi direcție.

Lumina poate fi polarizată în multe feluri, inclusiv atunci când se reflectă în apă sau pe capota unei maşini, care o polarizează, în general, pe orizontală. Din acest motiv, lentilele polarizate ale ochelarilor de soare blochează strălucirea, lăsând să treacă doar undele luminoase care oscilează vertical. [13] Lumina sincrotronică iese polarizată într-o direcție legată de curbura electronilor: în cazul unui fascicul care circulă într-un accelerator, ea apare polarizată în direcția orizontală.

Proprietățile sale sunt suficient de unice pentru a putea folosi măsurători în scopul de a determina când este produsă: dacă măsurați lumină cu proprietățile potrivite, puteți deduce că aceasta provine aproape sigur de la electronii cu traiectorii curbate în câmpuri magnetice.

Această intuiție s-a dovedit a fi cheia pentru a rezolva întrebările astronomilor cu privire la ceea ce producea emisiile radio în spațiu. Calea Lactee, pulsarii şi multe alte

obiecte nu sunt doar nişte sfere de gaz şi praf: ele au şi câmpuri magnetice. Atunci când particulele încărcate sunt curbate în aceste câmpuri, ele emit radiaţie sincrotronică, la fel ca în accelerator, luminând Universul, de obicei, în spectrul undelor radio. Astronomii pot verifica dacă emisiile sunt polarizate şi, astfel, pot determina structura magnetică – localizarea şi intensitatea câmpurilor magnetice – a obiectelor din spaţiu.

Pe măsură ce radioastronomia s-a dezvoltat în anii 1950 şi 1960, s-a constatat despre câmpurile magnetice că sunt mult mai frecvente decât se credea până atunci. Un exemplu spectaculos este Nebuloasa Crabului, rămăşiţele unei supernove cataclismice din anul 1054 d.Hr. Din constelaţia Taurul, care se dovedeşte a avea un nor energetic de electroni ce se roteşte în jurul unor linii de câmp magnetic conduse de un pulsar aflat în centrul său. În prezent, ştim că stelele, galaxiile, stelele neutronice şi supernovele au toate câmpuri magnetice.

Magnetismul poate explica, de asemenea, comportamentul celor mai extreme obiecte din spaţiu, inclusiv jeturile uriaşe de materie ionizată expulzate de găurile negre supermasive, despre care se crede că sunt cauzate de particule accelerate în câmpurile magnetice amestecate din centrul acestor obiecte compacte şi dense. Înţelegând radiaţia sincrotronică, astronomii au putut utiliza emisiile radio pe care le detectau din spaţiu pentru a obţine informaţii despre astfel de obiecte, dezvăluind proprietăţile magnetice ale Universului nostru.

La GE, lumina a fost la început o curiozitate, cu care fizicienii se mândreau tuturor vizitatorilor. Apoi, şi-au dat seama că puteau folosi lumina pentru a ajuta la reglarea, optimizarea şi operarea sincrotronului, ceea ce i-a ajutat să proiecteze următoarele maşini pe care să le vândă. În următorii câţiva ani, în întreaga lume au fost construite

sincrotroane de energie mai mare şi, în curând, a devenit evident că lumina sincrotronică avea un potențial care depăşea simpla diagnosticare a fasciculului de electroni. Inventatorul betatronului, Donald Kerst, a avut o remarcă foarte reuşită:

— Nu ar fi interesant dacă aceste maşini frumoase şi sofisticate şi-ar aduce cele mai mari contribuții ştiinței sub formă de becuri? [14]

În multe privințe, predicția ironică a lui Kerst a fost precisă. Odată ce a putut fi produsă în laborator, lumina sincrotronică avea să devină un instrument imbatabil în cercetarea ştiințifică, de la chimie şi biologie până la ştiința materialelor şi arheologie.

Primii oameni de ştiință care au încercat să utilizeze radiația sincrotronică au fost cei de la Universitatea Cornell în 1956 şi, cinci ani mai târziu, la Biroul Național de Standarde al Statelor Unite ale Americii – care stabileşte unități convenite pentru a ajuta la munca în domenii precum comunicațiile radio, industria auto şi electronică. Acest lucru a confirmat faptul că lumina sincrotronică este mult superioară oricărei surse de lumină standard sau tub cu raze X. Alții au urmat rapid, adaptând sincrotroanele existente pentru a permite utilizatorilor să aibă acces la lumină pentru experimente. La început, aceşti utilizatori secundari au trebuit să concureze pentru timp şi spațiu în instalațiile de fizică nucleară, dar, în 1970, a fost construită prima instalație pentru utilizatori: Sursa de Radiații Sincrotronice (SRS) de la Laboratorul Daresbury din Marea Britanie. Statele din întreaga lume au început să construiască acceleratoare de particule nu pentru a face fizica atomică, ci pentru a satisface cererile unei game vaste de utilizatori ştiințifici şi comerciali. Până în 1974, existau peste zece instalații de sincrotroane în întreaga lume,

proiectate şi construite special pentru a crea lumină sincrotronică.

Imaginile pot fi realizate cu ajutorul luminii sincrotronice prin plasarea mostrelor în lumina din aval de o fereastră sau de un orificiu din camera de vid şi înregistrarea rezultatului, iniţial cu ajutorul unor plăci fotografice, aşa cum se făcea în anii 1970, iar în prezent cu ajutorul unor detectoare digitale. Probele studiate pot fi incredibil de diverse: printre exemple se numără ciocolata, oţelul şi chiar bucăţi de castravete de mare.

Un domeniu care a beneficiat poate mai mult decât oricare altul de lumina sincrotronică este domeniul biologiei structurale. Se pare că biologia depinde, în cele din urmă, de structurile fizice la scară microscopică: felul în care se pliază proteinele, se instalează bolile şi chiar structura ADN-ului. După cum a explicat profesorul David Stuart, biolog de la Oxford, într-un interviu acordat Departamentului de Medicină Nuffield, biologii structurali încearcă să înţeleagă biologia într-un mod foarte detaliat, aşa cum ar încerca să înţeleagă cum funcţionează o maşină studiind fiecare piesă în parte, cum se potriveşte cu alte piese şi cum funcţionează acestea ca o maşină. Totuşi, biologia este mai complexă decât o maşină. Organismele umane sunt compuse din bilioane de celule, cu o varietate remarcabilă de componente interne care funcţionează la scară nanometrică. Atunci când înţelegem cum funcţionează biologia la această scară, aceasta ne oferă capacitatea de a interveni într-un mod foarte precis atunci când ceva nu merge bine.

Felul în care înţelegem în prezent biologia structurală se bazează pe adevărata bijuterie din coroana tehnicilor de imagistică, numită cristalografie cu raze X.

Aceasta a fost utilizată cu mult înainte de a exista sursele de lumină sincrotronică şi nu mai puţin de 28 de premii Nobel au fost acordate în baza acesteia. Totul a început în

1913, la Universitatea din Adelaide, cu fizicienii britanici-australieni William şi Lawrence Bragg, tată şi fiu, care au direcționat o sursă de raze X către un cristal de sare. Aceasta a produs un model frumos de difracție care, după cum şi-au dat seama, le putea oferi informații despre structura cristalului în sine, până la nivelul atomilor. [15] În urma lor, oamenii de știință au perfecționat această tehnică pentru a desluşi structura aproape tuturor moleculelor şi materialelor importante. Kathleen Lonsdale (colega lui William Bragg) a folosit cristalografia cu raze X pentru a descoperi, în 1929, că benzenul este un inel plat, în timp ce Dorothy Hodgkin a descoperit secretele penicilinei (în 1949), vitaminei B12 (în 1955) – o realizare care i-a adus premiul Nobel în 1964 – şi insulinei (în 1969), această din urmă sarcină luându-i 34 de ani. În 1952, Rosalind Franklin a folosit cristalografia cu raze X pentru a realiza celebra Fotografie 51, arătând că ADN-ul are o structură dublu-helicoidală. Structurile grafitului, grafenului, hemoglobinei şi mioglobinei, printre nenumărate altele, au fost determinate în acest fel, toate realizate doar cu ajutorul tuburilor cu raze X convenționale. Dar, odată cu apariția surselor de lumină sincrotronică, cristalografia a devenit mult mai puternică şi rămâne aşa şi astăzi.

Sincrotroanele au permis progrese enorme în știința fundamentală. Folosind cristalografia, Sir John Walker şi alții au descoperit structura adenozin trifos-fatului (ATP), molecula care transportă şi stochează energia în toate formele de viață vegetală şi animală, inclusiv la om. Roger Kornberg a desluşit modul în care genele se copiază singure cu ajutorul ARN-ului mesager, iar Venki Ramakrishnan şi colegii săi au descoperit structura ribozomului, toate acestea fiind descoperiri care au primit premiul Nobel. De reținut că niciuna dintre aceste descoperiri nu a fost făcută în fizica nucleară sau în fizica particulelor elementare, domenii care

au dus la descoperirea întâmplătoare a radiației sincrotronice.

La început, această putere ştiinţifică suplimentară poate părea foarte îndepărtată de viața de zi cu zi, până când îți dai seama că felul în care înțelegem biologia de bază a virusurilor depinde şi ea de cristalografia cu raze X. Acest lucru a devenit brusc de o importanță urgentă când COVID-19 a apărut pentru prima dată la Wuhan, China, la sfârşitul anului 2019. În interiorul virusului SARS-COV-2 se află 28 de proteine. Aceste proteine sunt lanțuri de molecule care sunt pliate pe ele însele în moduri foarte precise – imaginează-ți un ghem de lână într-o încurcătură intenționată. Acest proces de pliere lasă aşa-numitele „situri active", care pot fi țintite cu ajutorul unor compuşi chimici. Specialiştii în biologie structurală pot reproduce aceste proteine pentru studiu, folosind structura lor genetică pentru a le clona. Dar, mai întâi, cineva trebuie să secvențieze codul virusului.

După ce virusul a apărut în China, la 29 decembrie, au trecut doar 12 zile până când au apărut şase secvențe de virus. Până la 5 februarie 2020, echipa lui Zihe Rao şi Haitao Yang de la ShanghaiTech a depus prima structură a proteazei principale (o protează segmentează proteinele, dar este, de asemenea, esențială pentru replicarea virală şi o țintă atractivă pentru descoperirea de medicamente) în Protein Data Bank, baza de date online pe care oamenii de ştiință din întreaga lume o folosesc ca arhivă centrală pentru datele lor. Aceştia au rezolvat structura cu ajutorul instalației de radiație sincrotronică din Shanghai. Până atunci, echipa împărtăşise deja proactiv informațiile cu peste trei sute de grupuri de cercetare din întreaga lume.

Înainte ca majoritatea statelor să ia vreo măsură, biologii structurali lucrau din greu la sursele de lumină sincrotronică din întreaga lume pentru a crea şi studia

structurile fizice ale proteinelor care compun SARS-COV-2. Asta deoarece ştiau că, pentru ca un medicament sau un vaccin să fie eficient împotriva unui virus, organismul uman trebuie să producă molecule care să recunoască fizic, să se ataşeze şi apoi să neutralizeze şi să elimine agentul patogen nedorit. Orice opțiune de tratament sau vaccin are acelaşi punct de plecare: trebuie să se ştie cum funcționează virusul. Cheia pentru această cunoaştere se află în structura şi funcționarea virusului. Odată ce înțelegem baza chimică a recunoaşterii unui virus de către organism, putem încerca să concepem un medicament pentru a reduce efectul acestuia sau un vaccin care să îi spună organismului uman să creeze anticorpi. Poate că, în mod contraintuitiv, una dintre principalele bătălii din prima linie a pandemiei COVID nu a fost purtată în spitale, ci în clădiri în formă de inel, de mărimea unui teren de fotbal, care adăpostesc instalații ce provin din domeniul fizicii particulelor elementare.

La Sincrotonul australian, aflat la o jumătate de oră de Melbourne, doctor Eleanor Campbell lucrează ca cercetător în domeniul liniilor de fascicule, un expert care efectuează experimente cu lumină sincrotronică şi îi ajută pe alți oameni de ştiință să facă acelaşi lucru. În timp ce toți ceilalți pe care îi cunoştea au fost trimişi să muncească acasă atunci când a lovit pandemia, Campbell a fost unul dintre puținii oameni de ştiință a căror activitate s-a intensificat chiar la locul de muncă. Ea se ocupă de o linie de fascicul numită „MX-2”, utilizată pentru „cristalografie macromoleculară”, care permite oamenilor de ştiință să înțeleagă aranjamentul şi formele moleculelor biologice până la nivelul atomic.

De obicei, utilizatorii liniei sale de fascicule lucrează în chimie, fizica materiei condensate, inginerie şi ştiințele Pământului şi ale materialelor. La începutul anului 2020,

aceasta a fost dedicată în întregime studiilor legate de COVID.

Linia de fascicule primeşte lumina sincrotronică din inima instalației, sincrotonul însuşi, ascuns în spatele unor pereți mari de ecranare din beton. Inelul principal este alcătuit dintr-un tipar repetat de electromagneți – blocuri de fier înalte până la umeri, alimentate de cabluri groase de cupru – care este alimentat cu electroni de înaltă energie (3 GeV) de un accelerator mai mic. O echipă specializată în operațiuni lucrează în schimburi pentru a asigura funcționarea nonstop. Electronii din interiorul sincrotronului pot fi menținuți în circulație şi pot emite lumină zile sau săptămâni întregi, producând radiații în timp ce energia este realimentată continuu. Atunci când un grup de electroni este retras şi aruncat în afara aparatului, un alt grup îi ia rapid locul, astfel încât utilizatorii au parte de un gol foarte mic de radiații.[1]

O serie de stații experimentale apar pe tangente în jurul circumferinței inelului.

Acestea sunt liniile de fascicule. Amplasarea lor este dictată de „dispozitivele de inserție" amplasate în jurul inelului pentru a genera lumină sincrotronică. În prezent, în loc să utilizăm doar radiația emisă în mod natural de la magneții folosiți pentru devierea traiectoriilor, „dispozitive de inserție" numite wigglers şi undulators (dispozitive de ondulare) produc efectiv oscilația fasciculului, generând fascicule ce pot fi reglate la o anumită lungime de undă. Lumina se propagă apoi printr-o fereastră sau un port care se deschide în linia de fascicul, unde utilizatorii ştiințifici îşi pregătesc experimentele, plasând cristalele de proteine în suportul pentru mostre, gata să colecteze date.

Primul pas constă în transformarea cu succes a unei proteine într-un cristal, una dintre cele mai dificile părți ale activității. Moleculele biologice sunt mari şi pliabile – cu alte

cuvinte, se strivesc uşor –, iar materialele pe care le considerăm a fi cristale, cum ar fi sarea, sunt, în general, rigide. Munca lui Campbell implică să convingă „un amestec de materie biologică să înceapă să formeze un cristal ordonat şi rigid”. Acesta este un proces de încercări şi erori care constă în testarea mai multor reactivi – începând cu substanțe chimice care au funcționat în trecut – în cantități precise, până când se obține efectul dorit.

Dacă un om de ştiință este atât de norocos încât să obțină astfel de cristale formate din proteine, trebuie totuşi să pescuiască micile cristale de dimensiuni micrometrice folosind bucle miniaturale de nailon. Munca este eminamente manuală, necesitând cea mai mare răbdare. Odată ce cristalele sunt gata să fie studiate, grupurile de cercetare îşi aduc, de obicei, întreaga echipă cu ele: lucrează în ture nonstop pentru a profita la maximum de timpul scurt în care pot folosi fasciculul. În timpul pandemiei, însă, multe dintre echipele de cercetare au fost nevoite să lucreze de la distanță, în timp ce Campbell şi colegii ei gestionau configurarea mostrelor la fața locului.

Campbell ştie cum este să fii nevoit să conduci de la distanță un experiment la o astfel de instalație. În timpul experimentelor pentru doctoratul său de la Universitatea din Cambridge, ea stătea la un computer în laboratorul său, în timp ce altcineva, lucrând de la distanță, plasa mostrele de cristal pregătite cu grijă în fasciculul provenit de la sursa de lumină sincrotronică din Marea Britanie, care se numeşte Diamond. Făcea clic pe împrospătarea imaginii şi o nouă formă a structurii unei proteine apărea pe ecranul ei. În timp ce ea obținea informații despre proteine, geometria reală a întregului experiment era ascunsă. Acum, ea se afla de cealaltă parte a ecuației, ajutând utilizatorii de la distanță să efectueze experimente pentru a afla cât mai multe despre virusul COVID.

Pentru biologii cu care lucrează Campbell, configurarea la distanță şi nopțile lungi de muncă au meritele lor. Fără un sincrotron, aceştia ar trebui să petreacă zile întregi folosind o sursă de raze X de laborator, având nevoie de aproximativ patruzeci de minute pentru fiecare unghi de imagine (cristalografia presupune preluarea de imagini la 180 de grade, colectarea tiparelor de difracție şi reconstruirea structurii tridimensionale prin matematică). La linia de fascicul MX-2 pe care o conduce Campbell, pentru a colecta date la 180 de grade, un experiment durează doar 18 secunde. Astfel, dacă cineva încearcă să testeze o serie de mostre, de exemplu, 50 de variații uşoare ale unei proteine, ceea ce înainte ar fi necesitat un doctorat întreg, procesul poate fi realizat acum în câteva ore cu această linie de fascicul. În multe cazuri, proprietățile unice ale luminii sincrotronice permit efectuarea unor experimente care, pur şi simplu, nu erau posibile înainte. Fără sincrotroane, biologilor le-ar fi luat ani de zile pentru a înțelege structurile SARS-COV-2.

În întreaga lume, în instalații ca aceasta, oamenii de ştiință au colaborat în vederea atingerii unui singur obiectiv primordial: au căutat să realizeze hărți la scară atomică a cât mai multor proteine care alcătuiesc SARS-COV-2. În vremuri mai puțin grăbite, cercetătorii au folosit astfel de instalații pentru a crea imagini şi a desluşi structurile multor molecule biologice cheie, ceea ce a condus la noi tratamente pentru SIDA, cancerul de piele, diabetul de tip 2, leucemia şi gripa sezonieră, precum şi la descoperiri revoluționare împotriva virusurilor ebola, zika şi SARS. Acesta este motivul pentru care cele aproximativ cincizeci de surse de lumină sincrotronică din întreaga lume fac parte din prima noastră linie de apărare împotriva bolilor virale emergente.

Când prima dintre aceste surse de lumină sincrotronică, Daresbury SRS, a fost închisă în 2008, a fost realizat un studiu asupra celor 11 000 de utilizatori ştiinţifici din timpul perioadei sale de funcţionare. Acesta a identificat mii de descoperiri care ne-au afectat viaţa în mod direct şi indirect. Noi materiale pentru îmbrăcăminte şi electronice, noi produse farmaceutice şi noi detergenţi sunt doar câteva dintre produsele care au apărut în urma studiilor efectuate la această instalaţie. Este greu să ne facem o idee despre cât de extinsă este aria de utilizare a unei astfel de instalaţii, dar, la momentul închiderii, unsprezece din primele douăzeci şi cinci de companii britanice clasate în funcţie de fondurile de cercetare şi dezvoltare (R&D) o utilizaseră.

SRS a fost folosit pentru a descoperi structura febrei aftoase, ceea ce a dus la crearea de noi vaccinuri, şi pentru a înţelege un fenomen numit „magnetorezistenţă gigantică", sau GMR, care reprezintă secretul ce stă la baza capacităţii imense de stocare a dispozitivelor noastre electronice, cum ar fi iPhone-urile. Cercetările SRS au contribuit la obţinerea de combustibil mai curat şi la o serie de medicamente noi. A contribuit chiar şi la patrimoniul cultural, studiind mostre de pe nava de război a dinastiei Tudor, Mary Rose, pentru a afla cum să se conserve mai bine rămăşiţele. Un studiu realizat de Cadbury – producătorii de ciocolată – a folosit lumina pentru a cerceta formarea cristalelor în ciocolată, ceea ce face ca gustul ciocolatei să fie şi mai delicios. O tehnică similară a fost folosită pentru a studia formarea cristalelor în metale pentru a îmbunătăţi siguranţa aeronavelor.

Descoperirile demne de notorietate sunt elementele de susţinere ale acestor instalaţii. Ele produc ştiinţă într-un ritm care poate fi greu de urmărit. Povestea luminii sincrotronice ne obligă să apreciem măsura în care instrumentele fizicii pot transforma alte domenii ale ştiinţei.

Ea ne reaminteşte că diferitele domenii ale cunoaşterii sunt inseparabile, de la cele mai mici până la cele mai mari obiecte din natură şi tot ce se află între ele. După cum spune Campbell, se simte mică doar intrând în fiecare zi în această mare instalaţie: uneori i se pare destul de copleşitor să se gândească cât de complicate sunt sincrotroanele. Echipa de fizică a acceleratorului ar spune cu siguranţă acelaşi lucru despre munca ei.

Acesta este motivul pentru care multe dintre descoperirile ştiinţifice moderne sunt în mod necesar interdisciplinare: nicio persoană nu poate înţelege pe deplin întreaga instalaţie. Cu toate acestea, folosind acest produs al cercetării în domeniul fizicii, oamenii de ştiinţă precum Campbell şi predecesorii ei pot crea cunoştinţe cu mult mai vaste decât ar fi putut preconiza vreodată fizicienii de la General Electric, Lawrence, Kerst sau Oliphant.

După cum am văzut, aceste cunoştinţe se extind dincolo de biologie şi chiar dincolo de Pământul nostru. Înţelegerea ştiinţei fundamentale din spatele radiaţiei sincrotronice a ajutat la descoperirea unui important instrument pentru astronomie. Ea a permis astronauţilor să vadă obiectele din spaţiu într-o lumină cu totul nouă, dezvăluind mecanismele interne ale tuturor lucrurilor, de la galaxii la quasari şi găuri negre, deoarece toate acestea emit lumină sincrotronică sub formă de unde radio. În prezent, radioastronomii studiază comportamentul complex al câmpurilor magnetice generate în regiunile extreme ale Universului, cum ar fi observaţiile recente ale unor „puseuri radio rapide”: impulsuri de unde radio extrem de puternice, de o milisecundă, care indică procese noi, cu multă energie, pe care nu le înţelegem încă pe deplin. Între timp, cosmologii analizează existenţa magnetismului în regiuni îndepărtate ale cosmosului drept o explicaţie pentru extinderea rapidă a Universului timpuriu. În radiaţia sincrotronică, fizicienii dispun de un instrument

care îi uneşte în încercarea lor de a înțelege fizica celor mai mari şi celor mai mici obiecte din Univers.

Toate acestea sunt posibile deoarece principiile fizicii se aplică nu doar pe Pământ, ci, din câte ştim noi, peste tot. Aceeaşi fizică ce ne permite să descoperim misterele din zonele îndepărtate ale Universului ne permite să desluşim mecanismele interne ale biologiei noastre şi să intervenim atunci când aceasta merge prost. Nu există niciun motiv anume pentru care Universul ar trebui să funcționeze aşa, dar este profund fascinant că o face.

În cele din urmă, radiația sincrotronică, care s-a dovedit a fi un instrument excepțional pentru astronomi şi alți oameni de ştiință, a devenit o barieră uriaşă pentru fizicienii preocupați de particule elementare. Aceştia doreau să împingă particulele la energii din ce în ce mai mari pentru a sparge atomii, dar acum se confruntau cu faptul că particulele radiază energie atunci când încearcă să le crească viteza. Ar fi trebuit să pompeze şi mai multă energie pentru a depăşi pierderea de energie pe măsură ce particulele se deplasau cu viteză în jurul maşinii. În scurt timp, vor ajunge la limita practică a cantității de energie pe care o pot furniza particulelor – cel puțin pentru anumite tipuri de particule.

Formula pentru radiație a preconizat că accelerarea particulelor cu masă mică, cum ar fi electronii, până la o energie mare va fi o problemă, dar că puterea radiației emise va fi mult mai mică pentru particulele mai grele. Un proton este de aproape 2 000 de ori mai greu decât un electron, dar ar emite de 10^{13} ori mai puține radiații decât electronii. [17] Reversul medaliei este provocarea pe care o reprezintă curbarea traiectoriei protonilor de înaltă energie într-un accelerator circular, care a necesitat fie magneți foarte puternici, fie un inel mult mai mare decât acceleratoarele de electroni de dimensiunea unei camere. Cum fizicienii erau

hotărâți să împingă protonii la energii mai mari, această limitare a însemnat că un lucru era inevitabil: acceleratoarele de particule construite în a doua jumătate a secolului XX vor creşte încontinuu.

A fost nevoie ca fizicienii să-şi unească forțele şi să formeze echipe specializate de ingineri, analişti de date, manageri şi alții pentru a construi şi a folosi aceste maşinării enorme. Ei au fost printre primii care au adoptat tehnologia de calcul şi au trebuit să creeze noi moduri de a vedea particulele, împingând mereu limitele posibilului. În timp, cercetările lor aveau să dezvăluie mult mai multe particule decât bănuia oricine că există. Sute de cercetători au căutat să răspundă la întrebarea: există o ordine subiacentă în natură? Putem prezice şi clasifica numeroasele particule diferite sau realitatea noastră este, pur şi simplu, un haos controlabil?

Partea a treia
Modelul standard şi dincolo de el

Adevărul nu este pentru toți oamenii, ci doar pentru cei care îl caută.

Ayn Rand, Anthem, 1938

Capitolul 8

Fizica particulelor elementare la scară mare: rezonanțe ciudate

Luis Alvarez ațipise în timp ce avionul în care zbura, Great Artiste, se apropia de Japonia. Era chiar înainte de zorii zilei de 6 august 1945, iar fizicianul de 34 de ani era

epuizat. Pilotul său urmărea un alt avion, bombardierul B-29 Enola Gay.

Un al treilea avion fără nume, denumit ulterior Necessary Evil, zbura în apropiere. Spre deosebire de majoritatea misiunilor de bombardament din cel de-al Doilea Război Mondial, în care au fost implicate sute de avioane, aceasta a implicat doar trei: avioanele urmau să zboare nedetectate şi să arunce o singură bombă asupra oraşului Hiroshima. Nu era o armă obişnuită: era Little Boy, o bombă atomică umplută cu uraniu îmbogăţit.

Alvarez îşi folosise cunoştinţele de fizică pentru a ajuta la dezvoltarea Little Boy în cadrul Proiectului Manhattan, proiectul extrem de secret al SUA, conceput împreună cu aliaţii britanici şi canadieni, pentru dezvoltarea primelor arme nucleare. Pe parcursul războiului, proiectul a devenit o întreprindere uriaşă care a angajat 100 000 de oameni, dintre care majoritatea nu ştiau deloc care era scopul muncii lor. Atunci când liderii militari au luat decizia de a folosi noile arme împotriva Japoniei, Alvarez[1] a fost însărcinat cu desfăşurarea unor instrumente care să urmărească coborârea bombei şi să înregistreze măsurătorile energiei eliberate în momentul exploziei. Dacă echipamentul său purta o paraşută, Alvarez a ales să nu o facă: dacă erau doborâţi, el a considerat că era mai bine să moară decât să fie capturat de japonezi.

Când a sosit momentul, bomba a fost eliberată din compartiment şi a căzut timp de patruzeci şi patru de secunde înainte de a fi detonată. O mică explozie internă a unit două cantităţi de uraniu puternic îmbogăţit pentru a forma o masă critică.

Nucleii de uraniu 235 s-au desprins apoi prin fisiune, eliberând neutroni şi creând alte fisiuni. A urmat o reacţie în lanţ. Un impuls orbitor de lumină a umplut avionul lui Alvarez, urmat de o serie de unde de şoc care ameninţau să

spargă aeronava. A fost nevoie de zece minute pentru ca norul ciupercă să se ridice la 18 kilometri înălțime. După aceea, Alvarez a privit în jos la peisajul de dedesubt. Era pustiu. El a scris mai târziu: „mă uitam în zadar după oraşul care fusese ținta noastră", gândindu-se că poate au ratat. Pilotul a trebuit să-l lămurească: oraşul-țintă Hiroshima fusese distrus. Optzeci de mii de oameni au fost uciși într-o clipă.

În timpul zborului de întoarcere la bază, pe măsură ce conştientiza natura deosebit de importantă a misiunii sale, Alvarez i-a scris o scrisoare fiului său de patru ani. El ştia că fiului său îi va fi greu să înțeleagă cum a putut fi implicat în acest eveniment istoric deosebit. Familia Alvarez avea în spate o mulțime de aventuri. Bunicul lui Alvarez a plecat din Spania în Cuba, a studiat medicina în California, apoi s-a căsătorit cu bunica sa (care a crescut într-o misiune religioasă în China), după care s-a mutat cu familia în Hawaii. Tatăl său (şi el medic) şi mama sa au lucrat o perioadă în Mexic, după care s-au întors în San Francisco, unde s-a născut Alvarez. Înalt, blond, curajos şi inteligent, Alvarez a ales fizica, deoarece a simțit că aceasta va fi o aventură. Dar munca de război nu era genul de aventură la care se gândise inițial.

Trei zile mai târziu, Alvarez a privit de pe insula Tinian cum colegii săi decolau pentru a însoți o a doua bombă, care a fost lansată asupra oraşului Nagasaki. La o zi după aceea, la 10 august 1945, japonezii s-au oferit să se predea. Alvarez nu a mai scris despre aceste evenimente timp de încă patruzeci de ani.

Astăzi, Muzeul Memorial al Păcii din Hiroshima prezintă povestea impactului devastator pe care armele nucleare l-au avut asupra oraşului şi explorează ramificațiile mai largi ale utilizării lor în cel de-al Doilea Război Mondial.

Pentru un fizician aflat în vizită, acest lucru este deosebit de îngrijorător: un număr surprinzător de nume celebre din domeniul nostru apar în descrierea muzeului despre Proiectul Manhattan. Multe dintre personajele pe care le-am întâlnit până acum în această carte au fost implicate în dezvoltarea armelor nucleare, pentru că ele erau cele care deținеau cunoştințele şi competențele necesare pentru proiect. Ciclotroanele lui Ernest Lawrence au fost transformate pentru a separa izotopii de uraniu, iar el a supravegheat un vast proiect producător de calutroane (dispozitive de separare a izotopilor) în baza experienței pe care echipa sa o dobândise în construirea maşinilor de la Berkeley.

Au fost implicați o serie de angajați şi studenți ai lui Lawrence, inclusiv Alvarez.

Seth Neddermeyer a venit cu ideea unei implozii pentru a aduna masa critică necesară bombei cu plutoniu, care a fost lansată la Nagasaki. Niels Bohr, James Chadwick, John Cockcroft şi Mark Oliphant au făcut parte din proiect, alături de mulți teoreticieni care au jucat un rol mai puțin important în povestea noastră, inclusiv colegul lui Lawrence, Robert Oppenheimer, care a ajuns să conducă celebrul proiect.

Unii fizicieni au fost invitați, dar au refuzat roluri în cadrul Proiectului Manhattan, pentru a desfăşura alte activități în timpul războiului. Lui Carl Anderson i s-a cerut să fie şeful proiectului, dar, deoarece trebuia să îşi întrețină mama şi să aibă grijă de ea², a lucrat, în schimb, la rachete de artilerie. Unul dintre fizicienii care a refuzat în mod categoric să participe a fost Lise Meitner, una dintre singurele femei din domeniu la acea vreme. Supranumită de Einstein „o Marie Curie germană”, Meitner era originară din Viena. A fost nevoită să studieze fizica în particular, deoarece universitățile publice nu admiteau femei.

Încurajată şi susținută financiar de tatăl său, a plecat la Berlin după ce şi-a obținut doctoratul. Acolo l-a convins cumva pe Max Planck să-i permită să participe la cursurile sale şi, în cele din urmă, a devenit asistenta acestuia. Mai târziu, după ce a devenit prima femeie profesor universitar de fizică din Germania, a fost nevoită să fugă din țară din cauza originii sale evreieşti. Lise Meitner a fost cea care a realizat prima dată că, în loc să emită doar particule beta sau alfa, nucleele se puteau separa complet, iar nepotul ei, Otto Frisch, a introdus termenul „fisiune nucleară" pentru a descrie această idee. [3] În ciuda potențialului de a-şi folosi cunoştințele, a refuzat să se alăture Proiectului Manhattan, spunând: „Nu voi avea nimic de-a face cu o bombă!" Colegul lui Meitner, Otto Hahn, a publicat primele dovezi privind fisiunea nucleară fără să o menționeze drept coautor, pentru a evita să divulge corespondența cu ea şi să fie persecutat ca urmare. Hahn a primit premiul Nobel pentru această lucrare în 1944. Contribuția lui Meitner nu a fost recunoscută.

Cei care au fost de acord să se alăture Proiectului Manhattan nu ştiau dacă problema pe care au fost însărcinați să o rezolve – fabricarea unei arme nucleare – era măcar rezolvabilă. Dar, după ce au asistat la prima explozie din iulie 1945, numită testul „Trinity", a devenit clar că era într-adevăr posibil.

Această realitate i-a îngrozit pe mulți dintre fizicieni, care au inițiat petiții la Chicago şi la Los Alamos în care se opuneau folosirii armei pe care au creat-o.

Dar decizia nu era sub controlul lor. După ce bombele au fost lansate şi oraşele Hiroshima şi Nagasaki au fost distruse, starea de spirit a fizicienilor de la Los Alamos a fost sumbră. După cum şi-a amintit mai târziu Evelyne Litz, care a lucrat în domeniul fizicii sănătății şi ca bibliotecară: „În ziua în care a fost lansată bomba, nu a existat nicio urmă de veselie [...] Niciunul dintre prietenii noştri nu s-a întâlnit cu

alții; am fost foarte solemni”. [4] Mulți fizicieni, precum Alvarez, nu vor mai vorbi despre acest eveniment multă vreme. Cei mai mulți dintre ei vor invoca mai târziu narațiunea pragmatică potrivit căreia acesta a ajutat la încheierea războiului şi, astfel, a salvat vieți de ambele părți, per total.

Oricare ar fi fost poziția lor morală, pentru marea majoritate dintre ei, treaba fusese deja făcută.

Fizicienii au ieşit din cel de-al Doilea Război Mondial mai puțin naivi şi mai conştienți din punct de vedere social decât fuseseră înainte. Ei nu căutau chiar ispăşirea, dar în epoca postbelică a existat cu siguranță o dedicare reînnoită pentru a-şi folosi competențele în beneficiul societății paşnice. În timpul războiului, fizica fusese folosită în scopuri distructive, dar acum era vremea potrivită pentru țeluri mai nobile: sporirea cunoaşterii şi descoperirea de noi particule. La fel ca în cazul Proiectului Manhattan, această întreprindere dificilă va necesita o colaborare amplă, pe care Statele Unite aveau capacitatea dovedită de a o realiza. Fizicienii au început să adopte o nouă abordare la scară largă a activității lor, iar acest lucru avea să dea roade pentru ştiință şi pentru societate.

La 16 august 1945, Winston Churchill a declarat că „America se află în acest moment pe vârful lumii”. El le împărtăşea celor din Camera Comunelor dorința să de a păstra secretele armelor atomice confidențiale, pentru „siguranța comună a lumii”, Statele Unite creaseră imense capacități militare şi industriale, care, în opinia lui Churchill, dădeau țării o nouă obligație postbelică. El a continuat:

„Lăsați-i să acționeze la nivelul responsabilităților pe care le au, nu pentru ei înşişi, ci pentru alții, pentru toți oamenii din toate țările, şi atunci o zi mai luminoasă ar putea răsări în istoria omenirii”.[5]

Pentru mulți fizicieni tineri, precum Alvarez, activitatea lor de cercetare a fost complet perturbată de război. Acum, fiecare se afla în fața unei alegeri: ce să facă în continuare? Majoritatea fizicienilor s-au întors la universitățile şi laboratoarele lor de cercetare. Alvarez s-a întors la Berkeley hotărât să-şi folosească cunoştințele despre radar pentru acceleratoarele de particule.

Alegerea sa a fost determinată de faptul că va lucra la cea mai bună instalație din lume. Cu sprijinul financiar al statului american, echipa de la Berkeley a finalizat ciclotronul de mari dimensiuni pe care îl construise înainte de război, cu o singură schimbare: a încorporat ideea de stabilitate de fază de la Edwin MeMillan (vezi capitolul 7) şi a construit, în schimb, un „sincrociclotron" de protoni care a atins o energie a fasciculului de 350 MeV fără precedent. Echipa de la Berkeley s-a apucat de lucru pentru a găsi noi particule.

Mai întâi au folosit acceleratorul pentru a reproduce descoperirile făcute cu ajutorul razelor cosmice. Experimentele de pe vârfurile munților cu camere cu ceață şi emulsii nucleare au fost o metodă productivă pentru a descoperi pozitroni, miuoni şi pioni, aşa cum am văzut în capitolul 4. Acum apăreau dovezi despre noi particule care aveau proprietăți foarte diferite de cele pe care le văzuseră înainte – cum ar fi particulele „V" neutre din punct de vedere electric (1947), identificate prin dezintegrarea lor în perechi de urme care formau o formă de V în detectoare. În 1949 a fost descoperită o altă particulă care se dezintegra în trei pioni[7], numită ulterior kaon, iar în 1952 a fost descoperită în razele cosmice o nouă particulă, numită hiperon Xi-minus („hiper" pentru că era mai grea decât un proton).[8]

Natura părea să fie plină de particule care nu jucau niciun rol în materia de zi cu zi şi nu era clar care era semnificația lor. Ca să fie şi mai neclar, majoritatea noilor

particule păreau să trăiască mult mai mult decât se aşteptau – aici „mult” înseamnă nanosecunde – ceea ce i-a lăsat buimăciți pe teoreticieni. Noile particule au devenit cunoscute sub numele de particule „ciudate”. Cu doar câteva fotografii ale fiecăreia dintre ele, nu existau nici pe departe suficiente date provenite de la razele cosmice pentru a înțelege pe deplin noile particule.

Singura modalitate de a da un sens acestor particule misterioase a fost să se creeze cantități mari din ele în laborator.

Noul ciclotron de mari dimensiuni de la Berkeley a reprezentat un punct de cotitură. În 1949, colegii care lucrau cu acceleratorul de 350 MeV al lui Alvarez şi Lawrence au descoperit o particulă pe care camerele cu ceață la mare altitudine nu o observaseră: o versiune neutră din punct de vedere electric a pionului. Acest eveniment a marcat prima dată când o particulă necunoscută a fost descoperită cu ajutorul unui accelerator, şi nu cu ajutorul razelor cosmice. În sfârşit, tehnologia acceleratoarelor atingea energii fără precedent şi, cu aparate mult mai mature şi mai fiabile, fizicienii puteau începe să depăşească ceea ce se putea obține în urma experimentelor cu raze cosmice. Acceleratoarele de particule au oferit condițiile controlate necesare pentru a pune cap la cap puzzle-ul complex al particulelor şi forțelor. Singura problemă era că 350 MeV nu era o energie suficient de mare pentru a putea cu adevărat să înțelegem imaginea de ansamblu.

Energia maximă pe care o putea atinge acceleratorul era crucială, deoarece particulele stranii sunt grele – adică au o masă mai mare decât cele descoperite anterior, cum ar fi miuonul şi pionul. Echivalența dintre energie şi masă este dată de formula $E=me^2$ a lui Einstein şi este atât de înrădăcinată pentru fizicienii particulelor, încât folosim chiar şi unități de energie pentru a descrie masele

particulelor. Pionul neutru (π), de exemplu, are o masă de 135 MeV, care este masa sa de repaus – masa măsurată în stare staționară –, dar este exprimată în unități de energie (MeV). Această echivalență între masele şi energiile particulelor înseamnă că $E=me^2$ ne oferă rata de schimb între masă şi energie.

Este o rată de schimb absolut uluitoare, deoarece c, viteza luminii, este de 299 792 458 de metri pe secundă. La pătrat, este un număr atât de mare, încât nu aş îndrăzni să îl scriu pe hârtie. Acesta nu mai era doar o rată de schimb teoretică: cu acceleratoarele mari, era acum o realitate experimentală.

Construirea de acceleratoare pentru a atinge energii mai mari nu mai era doar pentru a explora neutronii şi protonii din nucleu. Oamenii de ştiință doreau, deşi nu ar fi formulat-o chiar aşa la vremea respectivă, să creeze particule complet noi din vid, din energie. Acest lucru poate fi puțin dificil de înțeles la început.

Principiul de bază este că aducem particule de mare energie – în acest caz, protoni – şi le lovim de o țintă. Particulele inițiale dispar şi toată energia este convertită în noi particule, în materie nouă. Particula inițială încetează, pur şi simplu, să mai existe – ceea ce este contraintuitiv în domeniul clasic, dar permis în mecanica cuantică.

Există, desigur, reguli cu privire la astfel de lucruri: natura nu îți permite să loveşti orice particulă de orice țintă şi să produci orice vrei. Anumite cantități trebuie să fie conservate. De exemplu, energia totală a particulelor trebuie să fie aceeaşi la intrarea şi la ieşirea din coliziune. Atunci când un fascicul de particule se loveşte de o țintă, o mare parte din această energie nu este folosită pentru a produce noi particule, ci este transportată ca energie cinetică în rămăşițe. Există şi alte reguli care guvernează aceste interacțiuni ale particulelor, inclusiv conservarea sarcinii electrice, a momentului unghiular (o particulă se poate roti

pe axa sa) şi a altor numere cuantice, dar vom reveni asupra acestora mai târziu.

Deocamdată, ceea ce contează este că, pentru a crea particule stranii, fizicienii de la Berkeley ştiau că au nevoie de un fascicul de protoni cu o energie mai mare decât cea pe care un ciclotron ar putea-o oferi vreodată.

Pentru Alvarez şi Lawrence a apărut un nou obiectiv important: construirea unei instalaţii suficient de puternice pentru a crea toate particulele stranii cunoscute care se găsesc în razele cosmice şi poate chiar şi cele mai grele. Pentru a realiza acest lucru, aveau nevoie de un tip nou de proiect. În locul ciclotronului, care necesita un singur magnet enorm – magnetul pentru ciclotronul de 350 MeV era atât de mare, încât echipa de o sută de persoane a fost fotografiată stând în jugul de fier –, urmau să construiască un accelerator alcătuit dintr-un inel compus din mulţi magneţi mai mici. Echipa de la Berkeley a început să facă planuri pentru un sincrotron de protoni[1] – o maşinărie în formă de inel, distinctă de sincrociclotronul apărut înainte – care ar putea atinge aceleaşi energii pe care le atingeau particulele provenite din razele cosmice. Deoarece ar fi putut să atingă energii de până la câteva miliarde de electroni-volţi, în intervalul „B[3]eV”, numele maşinii a fost uşor de găsit: „Bevatron”.

Echipa de la Berkeley nu era singura cu asemenea ambiţii. În cealaltă parte a ţării, în Long Island, unsprezece universităţi diferite au colaborat pentru a forma noul Laborator Naţional Brookhaven, iar construcţia propriului lor sincrotron de protoni de mari dimensiuni era deja în plină desfăşurare. În 1953, au trecut la „Cosmotron” – un inel de 23 de metri, de culoarea cuprului, format din 288 de

[3] Litera B provine de la cuvântul englez pentru miliard, billion. (N.r.)

magneți, fiecare cântărind şase tone. Era o frumusețe la scară industrială. În acea maşinărie de cupru şi fier, se afla o conductă de fascicule în care protonii urmau să fie accelerați până la 88% din viteza luminii. Atunci când Cosmotronul a atins energia proiectată de 3,3 GeV (numele BeV nu a rezistat, iar acum folosim „giga” pentru un miliard, de unde şi „GeV”), a stabilit recordul de accelerator cu cea mai mare energie din lume, depăşind ciclotronul de la Berkeley de aproape zece ori.

Echipa de la Berkeley a mers mai departe şi, în 1954, la doar un an după pornirea Cosmotronului, Bevatronul a început şi el să funcționeze. Toată lumea a ştiut când a intrat în funcțiune: un motor-generator enorm ambreia şi debreia, umplând sala de beton cu sunete vâjâitoare. Bevatronul era chiar mai mare decât Cosmotronul, având un diametru de 41 de metri şi o conductă de fascicul evacuat atât de mare, încât se spunea că aproape se putea trece cu maşina prin ea. Alvarez şi colegii săi – în special fizicianul Ed Lofgren şi inginerul William Brobeck – şi-au întrecut rivalii şi au reuşit să atingă o energie de aproape două ori mai mare decât cea a Cosmotronului, producând un fascicul de protoni la o valoare record de 6,2 GeV.

De ce au fost construite două acceleratoare în loc de unul singur? În afară de distanța geografică dintre cele două laboratoare şi comunitățile de cercetare concentrate de pe Coasta de Est şi de Vest, motivul principal este că guvernul american a luat decizia de a continua să utilizeze marile laboratoare pe care le crease în timpul războiului, punând în comun resursele umane şi financiare pentru atingerea unor obiective ştiințifice de anvergură. De asemenea, au susținut noi laboratoare, precum Brookhaven, deoarece credeau că existența mai multor laboratoare permitea un nivel de competiție animată.

Progresele tehnologice din timpul celui de-al Doilea Război Mondial au demonstrat că o echipă de fizicieni şi ingineri cu resurse suficiente poate rezolva probleme teoretice şi practice incredibil de dificile. Mai mult, acestea au demonstrat capacitatea de a lucra în echipe de dimensiuni şi complexitate fără precedent, cu sute de oameni de ştiinţă şi ingineri care lucrau alături de zeci de mii de alţi angajaţi, de la muncitori în construcţii la pompieri, pentru a atinge unele dintre cele mai dificile obiective pe care oamenii le-au conceput vreodată.

Felul lor de lucru a devenit prototipul altor proiecte ştiinţifice ambiţioase, inclusiv al programului spaţial american (şi al Uniunii Sovietice). Din acest moment, în special în Statele Unite, fizica a dobândit un statut pe care alte discipline nu îl aveau.

Acest nou sprijin pentru fizică a coincis cu o perioadă de creştere enormă în Statele Unite. Economia a înflorit, aducând noi bunuri de consum, noi suburbii şi noi bogăţii. Rata natalităţii a crescut, cu un record de 3,4 milioane de copii născuţi numai în 1946. Bugetul de stat a crescut şi el, cu investiţii în autostrăzi, şcoli, operaţiuni militare şi noi tehnologii, cum ar fi computerele. Ca urmare, în anii 1950 şi 1960, fizica particulelor elementare a cunoscut şi ea o înflorire puternică. Fizicienii înşişi au căpătat un nou sentiment de încredere. Întrebările mari erau acum la îndemâna lor: ce sunt particulele stranii găsite în razele cosmice şi ce ar putea învăţa de la ele – despre Univers, despre materie şi despre forţele care leagă totul între ele? Au toate particulele pe care le descoperiseră un echivalent de antimaterie? Există o ordine subiacentă în toate?

Experimentele au ieşit din laboratoarele universitare şi au devenit întreprinderi naţionale, unind grupuri mari de oameni care urmăreau un scop comun. Alvarez şi Lawrence au fost doar doi dintre numeroşii fizicieni implicaţi în

această schimbare. Experimentele construite în această perioadă s-au concentrat pe acceleratoarele mari de particule, începând cu Bevatron şi Cosmotron, care, în cele din urmă, vor alimenta cu particule noi detectoare care produceau milioane de imagini ce trebuiau analizate. Chiar şi sensul cuvântului „experiment” din jargonul fizicii a început să se schimbe.

După cum am văzut, la începuturi, un cercetător îşi construia propriul echipament de la zero sau, cel puţin, îl opera singur. Acesta concepea un experiment ca un test sau o încercare a unei idei. În anii 1950, un experiment a ajuns să implice o maşinărie gigantică, proiectată de un grup, întreţinută de ingineri specialişti, operată de personal dedicat, ale cărei rezultate erau analizate de o echipă şi interpretate de o altă echipă. Mai multe grupuri puteau folosi acelaşi experiment pentru a căuta lucruri diferite, iar acceleratoarele, detectoarele şi alte părţi ale întregului experiment erau modificate şi îmbunătăţite pe măsură ce se inventau şi se adoptau noi tehnologii. A devenit greu de spus unde se termina un experiment şi unde începea altul.

În prezent, cercetătorii din domeniul fizicii particulelor elementare sunt obişnuiţi cu laboratoarele mari şi cu colaborările internaţionale, dar acestea nu au fost întotdeauna norma. La jumătatea secolului XX, tehnologiile, politica, ştiinţa şi personalitatea s-au unit în epoca Big Science, care ne-a oferit felul nostru modern de a practica fizica particulelor elementare. Drept urmare, numărul de particule elementare descoperite a explodat, iar experimentele au luat-o atât de mult înaintea teoriei, încât a fost nevoie de aproape douăzeci de ani pentru ca ordinea subiacentă să fie înţeleasă în sens matematic.

Stând în faţa unor panouri de control pline de cadrane şi contoare, operatorii de acceleratoare specializaţi au adus Cosmotronul (pe Coasta de Est) şi Bevatronul (pe Coasta de

Vest) la energie maximă şi apoi au direcționat fasciculul către o țintă, creând o sursă prolifică de particule rare. În scurt timp, echipele au produs şi măsurat toate particulele cunoscute ale razelor cosmice: pioni, miuoni, pozitroni şi particule stranii. Acum, în loc să observe evenimente individuale de pioni într-o analiză minuțioasă a razelor cosmice, acceleratoarele puteau produce un fascicul constant de pioni cu cantități mari de energie, gata să fie analizat în detaliu. La Cosmotron, în 1953, pionii au fost lansați într-o cameră cu ceață şi au produs un număr imens de particule stranii la cerere, iar Bevatronul a urmat în curând exemplul. Cu ajutorul acceleratoarelor, fizicienii au avut la dispoziție un flux de date la care pionierii razelor cosmice puteau doar să viseze.

În 1954, când Bevatronul a început să funcționeze, lista de particule stranii crescuse: după spusele lui Alvarez, existau „mai multe particule încărcate electric şi una neutră, toate cu mase în jur de 500 MeV”[11], precum şi trei particule mai grele decât protonul, lambda neutră (Λ), cele două sigma încărcate electric (Σ±) şi xi negativ (Ξ-). Departe de a răspunde dintr-odată la toate întrebările lor, lista de ciudățenii nu a făcut decât să crească pe măsură ce au făcut mai multe măsurători. Particulele stranii au continuat să apară cu durate de viață de 100 de miliarde de ori mai lungi decât se aşteptau. Nu că ar fi trăit mult timp în termeni obiectivi – ele nu existau decât 10-10 secunde înainte de a se dezintegra, de un milion de ori mai repede decât clipitul unui ochi –, dar cele mai bune estimări ale teoreticienilor preconizaseră că se vor dezintegra în doar 10-21 secunde, de încă 100 de miliarde de ori mai puțin! În plus, unele particule despre care se aşteptau să fie produse în cantități egale nu au fost aşa.

În acest punct, fizicienii credeau că există patru forțe în natură. Gravitația şi electromagnetismul erau bine

cunoscute, dar nu puteau explica domeniul nuclear, aşa că au fost propuse alte două. Forţa nucleară tare a fost prezentată de Hideki Yukawa, în 1934, ca fiind forţa care leagă protonii şi neutronii între ei în nucleu. Teoria sa a venit cu o particulă cu o masă de aproximativ 200 de ori mai mare decât cea a electronului, care ar fi purtătoare sau mediatoare a acestei forţe.

La început, s-a crezut că miuonul este purtătorul forţei tari, dar acesta a fost repede exclus, deoarece nu interacţiona cu materia nucleară aşa cum se preconiza. Ulterior, pionul a părut mai probabil, dar acest lucru nu era încă foarte clar. A doua forţă propusă a fost forţa nucleară slabă, responsabilă de dezintegrarea beta radioactivă, descrisă într-o teorie de Enrico Fermi în 1933. Nu se ştia exact unde se potriveau particulele stranii în această imagine. Se putea oare ca particulele stranii să fi fost produse printr-o forţă, forţa nucleară tare, dar să se dezintegreze pe o altă cale, prin intermediul forţei slabe?

La Universitatea din Michigan, un fizician experimentalist în vârstă de 25 de ani, pe nume Donald Glaser, avea în minte problema particulelor stranii. Chiar şi în 1950, el a putut observa că particulele stranii au dus la faptul că domeniul fizicii particulelor elementare „s-a cam blocat”, după cum spunea el. [12] Toată lumea din domeniu la acea vreme ştia de ce se întâmpla acest lucru: nu se colectau suficiente date. Fără mai multe date, teoreticienii nu dispuneau de suficiente informaţii pentru a-şi da seama ce erau particulele stranii sau cum se potriveau acestea cu alte particule şi forţe din natură. Glaser şi-a propus să vină cu o metodă pentru a schimba toate acestea.

Doar construirea unor acceleratoare mari nu rezolva toate misterele particulelor stranii. Desigur, un accelerator ar putea crea mai multe particule stranii, dar asta nu era de niciun folos dacă nu le puteai detecta şi măsura. În timp ce

Alvarez şi alții continuau să construiască acceleratoare mari, ideea lui Glaser era să construiască un detector care să poată capta mai multe date de la razele cosmice decât camera cu ceață existentă.

Spre deosebire de mulți alți fizicieni din acea vreme, Glaser nu era interesat să facă parte din marile laboratoare, preferând să lucreze cu un mic grup universitar. Reflectase mult şi bine la ce fel de viață dorea să trăiască. Fiind o persoană sportivă, îşi dorea să locuiască în vârful unui munte, într-o stațiune de schi, să schieze în timpul zilei, în timp ce experimentul său colecta date. Seara, el ar fi cernut informațiile şi ar fi făcut descoperiri de noi particule. Ştia despre unii cercetători elvețieni care făceau aproape asta, creând un flux lent, dar constant de noi observații, cu mult timp pentru a le contempla.

Când s-a gândit la un nou detector, Glaser ştia că va trebui să găsească o modalitate de a da interacțiunilor minuscule ale particulelor o amplificare uriaşă pentru a le face înregistrabile. El urmărea o stare „metastabilă”, în care o cantitate mică de energie declanşează un efect mult mai mare, la fel cum camera cu ceață foloseşte starea metastabilă a unor vapori suprasaturați pentru a declanşa formarea picăturilor de ceață. La început, a luat în considerare norii, dar când a aflat că un grup de la Brookhaven încerca să construiască o cameră cu ceață de mare presiune, care avea nevoie de douăzeci de minute pentru a se reseta între două fotografii, a decis că nu era o idee bună, deoarece nu ar fi colectat niciodată suficiente date. Glaser a pornit în căutarea unui nou mod de a vedea particulele.

Glaser şi-a imaginat descoperirea unui lichid care se solidifica atunci când o particulă trecea prin el, formând ceva de genul unui „pom de Crăciun din plastic” al dezintegrării şi interacțiunilor particulelor. El a visat că va fi

capabil să aleagă copacii de plastic, să măsoare toate unghiurile şi să descopere astfel noi particule. Dar când a încercat cu o soluție chimică, în loc să obțină pomi de Crăciun, amestecul s-a transformat doar într-un maro noroios. Nu s-a deranjat să o publice şi a trecut la următoarea idee. A încercat să folosească cristale de gheață în apă, dar şi-a dat seama că ar dura prea mult timp pentru a topi gheața şi pentru a o lua de la capăt. Glaser a încercat toate configurațiile fizice, electrice şi chimice pe care şi le putea imagina, dar niciuna dintre ele nu părea capabilă să producă o înregistrare utilizabilă a evenimentelor de particule potrivită pentru colectarea de date.

Apoi, într-o zi, în 1951, un gând despre oale sub presiune i-a schimbat soarta.

Într-o oală sub presiune, apa poate fi încălzită până la peste punctul de fierbere (100 de grade Celsius) înainte de a se produce bule. El s-a întrebat: „Aş putea să pun un lichid într-o oală sub presiune şi să îl aduc suficient de mult deasupra punctului de fierbere, astfel încât, dacă aş scoate capacul foarte repede, înainte de a se produce explozia, să fie suficient de instabil pentru a fi sensibil la o particulă?”[13]

El a testat mai multe lichide diferite, încercând să vadă dacă acestea ar forma bule atunci când sunt expuse la o sursă de radiații. Apa minerală avea o tensiune superficială prea mare pentru a funcționa, iar băutura răcoritoare cu ghimbir nu s-a descurcat mai bine. La un moment dat, i-a venit ideea că un lichid cu o cantitate mică de alcool ar putea funcționa, aşa că a găsit un lichid disponibil în mod obişnuit care îndeplinea criteriile: berea. Singura problemă era că alcoolul era interzis oriunde în apropierea universității, aşa că a trebuit să strecoare o ladă de alcool în departament după orele de program. A pus o sticlă într-un pahar mare cu ulei încins, a plasat lângă ea o sursă de cobalt-60 – un emițător puternic de raze gamma – şi a scos

capacul, aşteptând să vadă dacă berea face spumă diferit din cauza sursei de radiații. Berea, a concluzionat el, nu părea să fie afectată de sursa de cobalt, dar a uitat să ia în considerare un alt aspect al experienței sale nocturne. Berea fierbinte a făcut spumă atât de repede când s-a încălzit, încât a sărit în aer, lovind tavanul. În dimineața următoare, Glaser a fost pus în situația nefericită de a explica de ce întregul departament duhnea a bere.

Directorul său de departament, un antialcoolic convins, era furios. [14]

În cele din urmă, Glaser a studiat tabelele chimice relevante şi a dat peste un lichid numit eter dietilic, care este folosit, de obicei, ca anestezic. Glaser a creat un mic balon de sticlă, cam de mărimea degetului mare, şi a turnat eterul dietilic în el. Într-o dimineață, în jurul orei trei, a supraîncălzit eterul folosind ulei încins.

Apoi, a luat sursa de cobalt-60 şi a apropiat-o brusc de bec. Lichidul a explodat cu bule. A făcut-o din nou şi s-a întâmplat acelaşi lucru. A completat rapid instalația cu o cameră ce filma multe cadre pe secundă şi un bec pentru bliț de la colegii ingineri locali şi a reuşit să capteze o imagine a razelor gamma care traversează micul detector. Reuşise. Glaser inventase un nou tip de detector de particule: camera cu bule. [15]

Glaser şi-a dat seama că noua sa invenție ar trebui să-i permită să colecteze date cu o viteză enormă. În camera cu bule, lichidul este de o mie de ori mai dens decât aerul, astfel încât şansa de a vedea o particulă traversând camera este de o mie de ori mai mare decât într-o cameră cu nori. El a scris o lucrare şi a aranjat să îşi prezinte rezultatele la reuniunea Societății Americane de Fizică de la Washington, în aprilie 1953.

Când a sosit la conferință, Glaser a fost dezamăgit să constate că era programat să vorbească în ultima zi: ziua în

care toţi fizicienii mai în vârstă şi mai consacraţi ar fi plecat deja să ia avioanele spre casă. Într-o seară, s-a plâns de situaţia sa dificilă la un pahar de băutură cu un grup de fizicieni mai bătrâni, printre care Luis Alvarez. Alvarez a recunoscut că şi el ar fi părăsit conferinţa până atunci, dar era curios să afle la ce lucra Glaser. Când a aflat despre camera cu bule, Alvarez şi-a dat seama imediat de implicaţiile ideii tânărului: „Îmi storceam fără succes creierii pentru a găsi un detector potrivit pentru Bevatron, care urma să fie pornit. Mi-a fost imediat clar că această cameră a lui Glaser se potrivea perfect”.[1]

Alvarez s-a asigurat că doi membri ai echipei sale au rămas în urmă pentru a asculta discursul lui Glaser. Atât Alvarez, cât şi Glaser ştiau ce trebuia să se întâmple astfel încât camera cu bule să fie utilă pentru detectarea particulelor la Bevatron. În primul rând, o îmbunătăţire evidentă ar fi fost înlocuirea eterului dietilic cu hidrogen lichid – deoarece hidrogenul este format în mare parte din protoni, ar produce coliziuni simple ale protonilor de mare energie de la Bevatron cu protonii din hidrogen. Cu toate acestea, hidrogenul este extrem de exploziv, iar hidrogenul lichid este extrem de rece – în jur de -250°C –, aşa că ar trebui să se procedeze cu mare atenţie. Cea de-a doua provocare a fost de a extinde detectorul la un volum mare, astfel încât protonii de înaltă energie să aibă suficient spaţiu pentru a interacţiona în hidrogen, să creeze particule stranii şi să lase urme lungi care să poată fi fotografiate şi analizate.

Glaser, întors în Michigan, ştia că nu putea concura cu resursele enorme şi echipele de ingineri pe care Alvarez le avea la dispoziţie. El visase să folosească camera cu bule cu raze cosmice de mare energie din spaţiu, trăind o viaţă idilică în vârful muntelui. Acum îşi dădea seama de problema visului său: urmele de bule apăreau şi dispăreau

atât de repede, încât nu exista nicio modalitate fiabilă de a declanşa camera la momentul potrivit pentru a fotografia interacțiunile particulelor din razele cosmice. Până când electronica putea deschide obturatorul aparatului foto, urma de bule ar fi dispărut de mult. Singurul mod în care putea folosi camera cu bule era să o combine cu unul dintre acceleratoarele mari, în care sincronizarea previzibilă a particulelor care sosesc i-ar oferi o şansă de a detecta interacțiunile.

După atâția ani în care s-a distanțat în mod activ de ideea de a lucra într-unul dintre marile laboratoare, se pare că nu avea de ales. Şi-a adunat studenții pentru o discuție grea şi, în cele din urmă, au fost cu toții de acord că vor merge la marile acceleratoare. Glaser a construit o cameră cu bule umplută cu propan cu diametrul de 15 centimetri şi a cumpărat o remorcă de 12 metri lungime în care el şi studenții săi absolvenți au încărcat tot echipamentul şi au călătorit prin țară.

Mai întâi, şi-a dus detectorul pentru a-l folosi la Cosmotronul de la Brookhaven.

Prima rolă de film pe care a folosit-o avea doar treizeci şi şase de imagini.

Printre imagini se aflau treizeci până la patruzeci de exemple de dezintegrări rare, care abia dacă fuseseră zărite înainte din zboruri cu balonul şi emulsii nucleare. Când a ieşit din camera obscură, s-a adunat o mulțime imensă. În cuvintele sale: „Ei bine, nu ştiam exact ce urma să obțin, dar ştiam că voi obține ceva – ştiam că, dacă va funcționa, va fi ceva important”. [17]

Camera cu bule avea timpi de ciclu mult mai rapizi şi o rezoluție mai bună decât o cameră cu ceață, ținând pasul cu proliferarea particulelor produse de noile acceleratoare. Alvarez şi echipa sa îi văzuseră potențialul şi au făcut imediat planuri pentru a crea o cameră cu bule de hidrogen

de mari dimensiuni pentru Bevatron. Mai întâi, au recreat rezultatele lui Glaser, apoi un mic grup din atelierul de mecanică a ajutat la construirea unei serii de camere cu bule de hidrogen de dimensiuni din ce în ce mai mari. Becurile de sticlă nu erau suficient de rezistente, aşa că au proiectat rezervoare de oţel prevăzute cu ferestre de sticlă prin care bulele puteau fi fotografiate.

În 1958, Alvarez avea o cameră cu bule de 15 inchi (38 de centimetri) care funcţiona la Bevatron şi, în scurt timp, l-a convins pe Glaser să se mute în California cu vreo şase studenţi din programele postuniversitare. Alvarez lansa un program de construire a unei camere cu bule de hidrogen lichid de 72 de inchi (183 de centimetri), dar chiar şi înainte de aceasta, camerele mai mici produceau o sumedenie de date. În curând, cea mai mare provocare a fost să ţină pasul cu analiza milioanelor de fotografii produse. Camera cu bule a lui Glaser a rezolvat cu siguranţă problema de a avea prea puţine date, dar a creat o nouă provocare: pentru a extrage date utile din filme era nevoie ca cineva să se uite la fiecare fotografie în parte.

Fotografiile au fost trimise la grupuri din întreaga lume pentru a fi studiate.

Glaser a comandat o servietă specială, în care a instalat un vizor de film pentru a putea analiza urmele camerei cu bule în timpul numeroaselor sale călătorii cu trenul între Brookhaven, Michigan, Chicago şi Berkeley. În timp, această analiză a devenit o sarcină specializată, realizată de un grup de „scanere” special concepute pentru aşa ceva. Acesta era un grup aproape în întregime feminin, cunoscut sub numele de „fetele de la scanare” şi care stătea zi de zi şi analiza urmele de particule. [18] La început, ele măsurau lungimea şi arcul urmelor de particule interesante, înregistrând datele de mână, pas cu pas. În cele din urmă, echipa lui Alvarez a creat maşini de măsurare semiautomate, pe care scanerele

le foloseau pentru a introduce datele pe cartele perforate şi în primele computere.

Ceea ce a reieşit din această colectare industrializată de date nu a fost imaginea clară la care se aşteptau, ci o confuzie totală. În 1958, Alvarez a descoperit o nouă particulă năucitoare, care a fost numită Y*(1385) – pronunțată „Y steluță o mie trei sute optzeci şi cinci” –, denumită astfel după masa sa de aproximativ 1385 MeV. Spun „aproximativ” deoarece adevărul era că masa sa era incertă şi aceasta a fost o parte esențială a misterului său. În realitate, masele tuturor particulelor sunt incerte; precizia cu care le cunoaştem masa este legată de durata de viață a acestora. Ca să fie clar, acest lucru nu se datorează unei erori de măsurare, ci este o proprietate a materiei consacrată de un principiu cheie al mecanicii cuantice: principiul incertitudinii al lui Heisenberg. Acest principiu implică faptul că, cu cât durata de viață a unei particule este mai scurtă, cu atât suntem mai puțin siguri de energia sa – şi, prin urmare, de masa sa. Noua particulă Y* a lui Alvarez trăia doar aproximativ 10-23 secunde, motiv pentru care masa sa era de doar „aproximativ” 1385 MeV. Alvarez nu a descoperit doar o nouă particulă, ci şi cel mai tranzitoriu fenomen fizic din lumea naturală: chiar şi călătorind aproape cu viteza luminii, acestea se deplasează mai puțin decât lățimea unui proton înainte de a se dezintegra.

Y*(1385) a fost prima dintr-un tip complet nou de particulă, numită particulă de rezonanță, şi multe altele au urmat. La punerea în funcțiune a Bevatronului, existau aproximativ treizeci de particule cunoscute, dar, în cele din urmă, au fost descoperite aproximativ două sute de particule noi şi de rezonanțe – atât de multe, încât literele alfabetului grecesc nu au fost suficiente. În timp ce experimentaliştii făceau descoperire după descoperire,

fizicienii teoreticieni concepeau propria lor revoluție creativă pentru a încerca să pună ordine în noile particule.

Mai întâi, particulele stranii au deschis calea. În 1956, fizicianul teoretician Murray Gell-Mann[1] (şi, în mod independent, Kazuhiko Nishijima în 1953) a atribuit fiecăreia dintre particulele stranii o nouă cantitate, numită stranietate.

Ideea era că stranietatea se păstra în interacțiuni tari: dacă se creează două particule şi una dintre ele are stranietatea +1, iar cealaltă stranietatea -1, stranietatea globală se păstrează. După ce am observat că particulele stranii erau, de obicei, create în perechi, acest lucru părea să se potrivească. Gell-Mann a sugerat, de asemenea, un motiv pentru care particulele stranii păreau să trăiască mai mult decât se aşteptau: stranietatea, a preconizat el, nu era conservată în dezintegrările slabe. Atunci când particulele stranii se dezintegrează astfel în particule care nu sunt stranii, dezintegrarea nu se poate realiza prin interacțiunea tare (care trebuie să respecte conservarea stranietății), ci trebuie să fie supusă unei dezintegrări slabe pe o scară de timp mai lentă. Dezintegrarea lor este inhibată de natură, ceea ce explică durata de viață relativ lungă a particulelor stranii.

În 1961, Murray Gell-Mann şi Yuval Ne'eman au propus fiecare un sistem de clasificare bazat pe stranietate şi sarcină electrică, denumit adesea „Calea cu opt brațe" – o aluzie la Nobila cale cu opt brațe din budism. Folosind matematici detaliate pentru a-şi susține teoria, Gell-Mann şi Ne'eman au reuşit să simplifice abundența de particule în grupuri ordonate, creând un sistem de clasificare. Un aspect al clasificării a fost spinul diferit al particulelor, un număr cuantic care descrie momentul unghiular intrinsec al unei particule care se roteşte în jurul axei sale. Pionii şi kaonii (toți cu spin 0) formează un grup de opt mezoni, în timp ce

lambda, protonul şi neutronul (spin 1/2) făceau parte dintr-un alt octet, de aşa-numiţi barioni. Exista un alt grup de zece barioni – un decuplet (toţi cu spin 3/2), care includea câteva dintre particulele mai ciudate, cum ar fi delta, sigma şi xi, toate acestea fiind observate. Aici a fost ceva important: în decuplet, teoria a făcut o predicţie conform căreia ar trebui să existe o particulă încă nevăzută, numită omega minus. Exista o singură modalitate de a confirma că sistemul lui Gell-Mann era corect.

În 1964, Brookhaven modernizase Cosmotronul cu un nou accelerator numit AGS (Alternating Gradient Synchrotron) [2] şi instalase o cameră cu bule de hidrogen lichid de 80 de inchi (203 centimetri), cu un magnet de 400 de tone. O echipă condusă de Nicholas Samios a pornit în căutarea particulei omega minus.

Când a fost descoperită mai târziu în acel an, a fost un triumf major pentru noua teorie. Se îndreptau în direcţia corectă.

După această descoperire, bazele matematice ale sistemului de clasificare a lui Gell-Mann l-au condus pe acesta la o sugestie cu adevărat uimitoare: protonii, neutronii, mezonii (precum pionii) şi rezonanţele nu erau cu adevărat particule fundamentale, ci erau compuse din bucăţi mai mici. Gell-Mann a numit aceşti constituenţi fundamentali „quarci”. [21] El a propus că există trei tipuri de quarci, cunoscuţi sub numele de „up”, „down” şi „strange”. Quarcii up şi down constituiau protonul şi neutronul, în timp ce quarcii strange intrau în alcătuirea particulelor stranii – kaoni, lambda şi aşa mai departe. Particulele de rezonanţă puteau fi înţelese ca stări excitate ale quarcilor combinaţi.

Big Science la scară industrială începea să dea roade. Pare aproape imposibil să fi ajuns la ideea de quarci fără ea: pur şi simplu, nu este posibil să construieşti şi să operezi

un astfel de echipament masiv cu o echipă mică. Bineînțeles, o asemenea extindere masivă vine cu problemele sale. Retrospectiv, poate fi dificil chiar să aflăm cine anume a fost implicat într-o descoperire sau care a fost rolul său exact. Există foarte puține înregistrări de primă mână ale „fetelor de la scanare". Studenții din programele postuniversitare care au părăsit domeniul nu au biografii detaliate. Lucrarea privind descoperirea omega minus avea 33 de autori, iar printre aceştia nu se număra niciunul dintre proiectanții, inginerii sau teoreticienii acceleratoarelor – nici măcar Gell-Mann. [22] Ca urmare, astăzi auzim, de obicei, doar poveştile celor câtorva fizicieni teoreticieni, şi nu ale echipelor de experimentatori, ingineri şi alte persoane necesare pentru a realiza descoperiri precum particulele de rezonanță şi omega minus.

Glaser, mereu campionul ştiinței la scară mică, a fost tulburat de această schimbare enormă în stilul de lucru. La doar câțiva ani după ce a primit premiul Nobel, în 1959, pentru camera cu bule, Glaser s-a săturat de munca administrativă pe care o presupunea supravegherea unor echipe mari de oameni care scanau şi ingineri şi a renunțat la fizică pentru a lucra în neurobiologie, unde a ajuns să fondeze prima companie de biotehnologie, Cetus Corporation. [23]

Între timp, Alvarez a primit premiul Nobel în 1968.

Big Science, aşa cum este practicată în laboratoare precum Berkeley, reuneşte diferite tipuri de oameni de ştiință, ceea ce creează capacitatea de a întreprinde cercetări aplicate ambițioase, precum şi descoperiri din domeniul fizicii motivate de curiozitate. Alvarez a devenit un susținător al acestui stil de cercetare, iar un alt veteran al Proiectului Manhattan, Robert Rathbun („Bob") Wilson, avea să devină şi el cunoscut pentru acest stil. La fel ca Alvarez, Wilson a fost unul dintre foştii ciclotronişti ai lui Ernest

Lawrence, dar, în loc de Berkeley, s-a mutat mai întâi la Harvard după război. Wilson nu era mândru de rolul său în dezvoltarea armelor atomice, comentând într-un interviu „am sperat întotdeauna că nu vom avea succes”. [24] Wilson a crescut în Wyoming, iar strămoşii săi au fost quakeri. Chiar şi înainte de război fusese un pacifist, dar după experiența sa din timpul războiului, a ajuns să simtă cu tărie că trebuie să contribuie la aplicațiile fizicii pe timp de pace.

În 1946, Wilson a venit cu o idee care i s-a părut atât de evidentă, încât a presupus că trebuie să se fi gândit la ea mulți alții. Energiile fasciculelor de protoni ale ciclotroanelor erau acum suficient de mari, câteva sute de MeV, încât fasciculele puteau ajunge adânc în țesuturile umane şi s-ar putea dovedi interesante pentru o utilizare terapeutică directă, în special în tratamentul cancerului. Când sugestia sa a ajuns la comunitatea medicală, s-a dovedit că nimeni nu prea se gândise să facă asta înainte. A durat mulți ani, dar ideea să avea să deschidă, în cele din urmă, calea pentru crearea unui tip complet nou de terapie împotriva cancerului, prin utilizarea particulelor încărcate cu energie înaltă, numită terapie cu particule. [25]

Întrebarea la care trebuia să răspundă era: cum interacționează particulele de înaltă energie cu corpul uman şi cum ar putea fi folosite pentru terapia cancerului? Fiind conştient de istoricul de succes al izotopilor generați de ciclotron în medicină, el ştia că fratele lui Ernest Lawrence, John, era persoana potrivită pe care trebuia să o abordeze pentru a face progrese.

În anii 1950, tratarea cancerului cu ajutorul radiațiilor devenise o practică obişnuită. Se foloseau raze X (şi uneori electroni) pentru radioterapie, deoarece era bine stabilit faptul că radiațiile ionizante – radiații cu suficientă energie pentru a disloca electronii şi a forma ioni – pot distruge celulele canceroase.

Scopul acestor tipuri de tratamente este întotdeauna acela de a administra o doză suficientă de radiație tumorii pentru a o distruge şi, în acelaşi timp, o doză cât mai mică țesuturilor sănătoase, ceea ce este dificil de realizat. Este dificil din cauza fizicii felului în care se comportă fasciculele în materie, motiv pentru care ideea lui Wilson a reprezentat un progres uriaş.

Atunci când un foton sau un electron de mare energie intră în țesutul uman, care este format în proporție de aproximativ 70% din apă, acesta interacționează cu electronii din jurul atomilor şi pierde energie destul de repede. În ceea ce priveşte doza de radiații, asta înseamnă că se depune o cantitate mare chiar sub piele şi o cantitate mai mică în interiorul corpului. Dar atunci când o particulă încărcată puternic intră în țesut sau în apă, electronii foarte mici nu sunt suficienți pentru a o încetini, astfel încât aceasta pierde încet-încet energie, deviind doar puțin de la traiectoria sa. Un proton sau o altă particulă grea încărcată poate pătrunde adânc în interiorul corpului, depunând foarte puțină energie la început, înainte de a încetini şi de a se opri, în cele din urmă, eliberând cea mai mare parte din energia sa (şi, prin urmare, din efectul distrugător) la sfârşitul razei sale de acțiune. Dacă reprezentați grafic adâncimea în funcție de doza unui proton, aceasta urmează o curbă numită vârful Bragg.[2]

Wilson şi-a dat seama că, din punct de vedere biologic, vârful Bragg al particulelor grele încărcate ar trebui să fie mult mai potrivit pentru a trata tumorile aflate în profunzimea corpului. Prin varierea energiei de pornire a protonilor, aceştia s-ar putea opri la diferite adâncimi, permițând medicilor să direcționeze radiațiile acolo unde este nevoie. Dar fizica radiațiilor şi a materiei este un lucru, iar efectul biologic la om încă nu fusese înțeles.

John Lawrence şi colegul său, doctorul Robert Stone, studiaseră anterior utilizarea neutronilor pentru terapie, dar rezultatele lor nu au fost concludente.

Ideea lui Wilson de a folosi, în schimb, particule încărcate l-a determinat pe colegul lor Cornelius Tobias să întreprindă experimente biologice folosind ciclotronul de 350 MeV în 1948, testând efectul protonilor şi deuteronilor asupra celulelor. Când acestea au părut promiţătoare, primul om a fost expus la fascicule de ioni de deuteriu şi heliu în 1952. Primul om a fost expus la fascicule de protoni în 1954, anul în care a fost pornit Bevatronul.

În ciuda faptului că dispuneau de un instrument cu o precizie mult mai mare pentru a administra radiaţii în profunzimea corpului, medicii nu puteau folosi cu precizie fasciculele de particule, deoarece ar fi operat orbeşte: metodele de imagistică de la acea vreme nu le permiteau să vadă în profunzimea corpului, deoarece nu fusese încă inventată tomografia computerizată (capitolul 1). O ţintă care putea fi văzută era glanda pituitară, care controlează eliberarea anumitor hormoni. Prin urmare, primele tratamente s-au concentrat pe oprirea glandei pituitare să mai producă hormoni care determină creşterea cancerului. Primul pacient, o femeie cu cancer de sân în metastază, a fost tratat cu succes în acest mod. [27] Va dura zeci de ani până când tehnologiile de imagistică şi de accelerare se vor uni pentru a crea un tratament complet împotriva cancerului, dar acesta a fost începutul uneia dintre cele mai sofisticate tehnici medicale.

În prezent, peste o sută de centre din întreaga lume oferă terapie cu particule – folosind fie protoni, fie ioni grei (de obicei, ioni de carbon). Acest număr a crescut de la douăzeci şi două de centre în urmă cu doar un deceniu şi continuă să crească exponenţial. Terapia cu particule este deosebit de potrivită pentru tumorile profunde şi greu accesibile, pentru

cazurile dificile din copilărie sau pentru tumorile din apropierea organelor critice. În Marea Britanie, o familie a ajuns pe prima pagină a ziarelor în 2016 pentru că a fugit în altă parte a Europei, împotriva sfatului medicilor de a nu-şi trata copilul lor la Praga prin terapie cu protoni, în momentul în care primele centre de terapie cu protoni din Marea Britanie erau încă în construcție.

Centrele sunt proiectate cu grijă, astfel încât pacienții abia dacă sunt conştienți de faptul că în apropiere se află un accelerator de particule. La Institutul Paul Scherrer din Elveția, sălile de tratament pentru pacienți sunt amplasate pe coridoare placate cu panouri de lemn, cu paravane de hârtie în stil japonez, luminate din spate, pentru a da senzația că lumina zilei se află chiar în spatele peretelui. Paravanele maschează ecranarea de protecție împotriva radiațiilor, construită din beton şi având un metru grosime. În timpul tratamentului, pacientul stă întins pe un pat din fibră de carbon, în mijlocul unei încăperi mici, montat pe un sistem robotizat de poziționare. Dacă nu ai vedea duza mare de metal alb care iese din tavan, te-ai aştepta ca un chirurg să apară în orice moment. Dar, în această instalație, nu este nevoie de chirurgi umani.

Pentru pacienții (sau fizicienii) curioşi, este permis un tur în culise. Pereții care par solizi ai camerei de tratament pentru pacienți dezvăluie un mâner ascuns, care se deschide într-un spațiu cavernos plin de echipamente mari, de sunete de pompe de vid şi de surse de alimentare care bâzâie. În partea din spate a incintei, o țeavă metalică cu fascicule iese printr-o gaură în ecranarea de beton, aducând protoni de la acceleratorul din apropiere. Fasciculul de protoni călătoreşte printr-o serie de magneți care urcă deasupra camerei pacientului. În cele din urmă, este îndoit în jos printr-un magnet de 200 de tone, care direcționează fasciculul acolo unde este nevoie de el. Da, unul dintre

magneți este aproape de două ori mai greu decât o balenă albastră şi da, de multe ori se află chiar deasupra pacientului.

Întreaga structură – numită pod rulant – este mobilă: se roteşte în jurul pacientului, livrând fasciculul din orice unghi, în timp ce pacientul stă întins pe patul de tratament, fără a putea simți fasciculul de particule interacționând cu corpul său. Pentru terapia cu protoni, un ciclotron cu o circumferință de câțiva metri reprezintă doar o mică parte a sistemului complet. Pentru particule mai grele, sunt necesare sincrotroane cu diametrul de aproximativ douăzeci de metri.

Aceiaşi fizicieni care proiectează acceleratoare de particule pentru fizica particulelor elementare sunt cei care proiectează sincrotroanele (şi unele ciclotroane) pentru terapia cu particule în spitale. Dezvoltarea în comun a terapiei pentru cancer şi a fizicii particulelor elementare a fost posibilă datorită colaborării interdisciplinare. Aceasta nu a fost o greşeală: Lawrence (care a murit în 1958) şi succesorii săi au avut intenția de a crea medii în care cunoştințele să poată trece cu uşurință peste granițe. Această nouă abordare a ştiinței, la scară largă şi bazată pe echipe, a revoluționat simultan felul în care înțelegem fizica particulelor elementare şi a catalizat beneficiile acesteia pentru societate.

În prezent, obiectivul este de a încerca să facem această tehnologie din ce în ce mai mică, mai ieftină şi mai precisă. Terapia cu particule oferă o forță motrice complet nouă pentru fizicieni, care îi determină să adapteze şi să inventeze noi tehnologii de accelerare. Este doar una dintre numeroasele aplicații practice uimitoare ale fizicii care au rezultat în urma tranziției acestui domeniu către experimente uriaşe de colaborare.

Această tranziție s-a petrecut nu numai în Statele Unite, ci în întreaga lume.

Când începea reconstrucția de după cel de-al Doilea Război Mondial în Europa, fizicianul francez Louis de Broglie a propus pentru prima dată ca oamenii de știință europeni să se unească pentru a crea un laborator multinațional. Era o chestiune de necesitate dacă doreau să continue cercetările în domeniul fizicii energiilor înalte. Aceștia priveau marile proiecte planificate și construite în Statele Unite și știau că singurul mod în care puteau rămâne în joc ar fi fost folosirea la comun a resurselor.

După ce au făcut presiuni pe lângă statele lor timp de mai mulți ani, douăsprezece țări vest-europene au ratificat crearea unui nou laborator, în 1954, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, sau CERN, în apropiere de Geneva. Acesta a reunit cercetători din țări care se aflau în război cu doar câțiva ani înainte, printre care Belgia, Danemarca, Franța, Germania, Grecia, Italia, Olanda, Norvegia, Suedia, Elveția, Regatul Unit și Iugoslavia. Condus de o serie de consilii în care fiecare stat membru era reprezentat, CERN a creat o structură unică pentru luarea deciziilor și pentru promovarea proiectelor științifice majore, îndemnând națiunile să colaboreze pentru atingerea unor obiective comune. Spre deosebire de multe dintre laboratoarele americane, în convenția CERN este scris că laboratorul „nu trebuie să se ocupe de lucrări pentru nevoi militare, iar rezultatele activității sale experimentale și teoretice trebuie să fie publicate sau puse la dispoziția publicului larg în alt mod". Sarcina CERN a fost, și continuă să fie, știința pentru pace.

Între timp, Japonia și-a văzut capacitatea științifică distrusă nu doar de sărăcia provocată de război, ci și de acțiunile armatei americane în 1945. De teamă că ciclotroanele ar putea fi folosite pentru a dezvolta arme

nucleare, soldaţii armatei americane au distrus patru dintre ciclotroanele mari ai Japoniei şi le-au aruncat în portul Tokyo. [28]

Abia în 1952, odată cu ratificarea Tratatului din San Francisco, s-a restabilit pacea între Japonia şi puterile aliate, pentru ca aceasta să se poată gândi măcar la construirea de noi maşini. Astăzi, Japonia are o cercetare de nivel mondial nu doar în domeniul fizicii particulelor elementare, ci şi în cel al terapiei cu particule.

Pentru fizicienii din anii 1960, aplicaţiile muncii lor în domeniul biologiei erau încă un proiect secundar, a cărui realizare deplină era departe în viitor. Odată cu noul sistem de clasificare a particulelor fundamentale, începeau, în sfârşit, să înţeleagă materia şi forţele la un nivel fundamental. Nu toate noile particule erau elementare, unele având constituenţi numiţi quarci, dar quarcii în sine nu fuseseră încă observaţi. Particulele care conţin quarci interacţionează toate prin intermediul forţei nucleare tari, dar fizicienii, în acest moment, încă nu rezolvaseră misterul legat de modul în care funcţionează forţa nucleară slabă. Ei ştiau doar că această a patra forţă era responsabilă de dezintegrarea beta. Şi tocmai dezintegrarea beta este cea care ne conduce la următoarea noastră aventură.

Capitolul 9

Megadetectoare: găsirea misteriosului neutrino

Dintre cele trei tipuri de bază de dezintegrare radioactivă – alfa, beta şi gamma –, unul era deosebit într-un mod bizar faţă de celelalte. Dezintegrarea beta le dă de furcă fizicienilor încă de la începutul anilor 1900, deoarece pare să încalce una dintre legile fundamentale ale fizicii. Misterul dezintegrării beta va dura mai mult de cincizeci de ani

pentru a fi elucidat, forțând fizicienii să construiască o serie de experimente subterane extraordinare pentru a găsi o nouă particulă teoretică despre care experții de top credeau că nu va putea fi detectată niciodată. Acea particulă era neutrinoul: cea mai abundentă, dar evazivă particulă din Univers.

Încă de la începutul anilor 1900, experimentele au arătat că radiația beta părea să producă electroni cu o serie de energii diferite. Acest lucru nu era deosebit de îngrijorător la vremea respectivă, dar, după ce nucleul atomic a fost dezvăluit, au început să apară probleme. Când un element suferă dezintegrare beta, acesta nu rămâne neschimbat: elementul se deplasează cu un loc spre dreapta în tabelul periodic. Asta nu e totuna cu pierderea unui electron de pe orbita sa atomică, deoarece acest lucru schimbă doar sarcina electrică a atomului, nu şi tipul de atom. Pe de altă parte, dezintegrarea beta produce electroni din interiorul nucleului. Măsurătorile detaliate efectuate de James Chadwick şi colegii săi au arătat că electronii beta pot apărea cu un spectru continuu de energii, de la foarte mici până la o anumită energie maximă, aparent la întâmplare. Acest lucru a reprezentat o provocare profundă. Dezintegrarea beta sfida principiile fundamentale ale fizicii.

Într-un atom supus dezintegrării beta există la început un singur obiect – atomul. Ulterior, există două obiecte, atomul şi electronul. Una dintre legile fundamentale ale fizicii, legea conservării impulsului, impune ca energia cinetică antrenată de proiectilele dintr-un sistem simplu cu două corpuri precum acesta să ia o valoare unică şi previzibilă. Radiațiile alfa şi gama se supuneau frumos acestei legi, dar în cazul radiațiilor beta, energiile erau aleatorii şi imprevizibile.

Încălcarea unui astfel de principiu ştiinţific fundamental este un semn sigur că experimentul tău este greşit sau că

măsurătorile sunt incorecte. Cu toate acestea, oricât de mult ar fi încercat, oricine a făcut un astfel de experiment nu a putut face ca datele să iasă altfel.

Fiecare fizician avea o opinie diferită despre ceea ce se întâmpla. Unii, cum ar fi Niels Bohr, s-au gândit să renunțe la ideea de conservare a impulsului sau, cel puțin, să o ocolească, propunând că, la scările minuscule din interiorul atomilor, energia ar putea fi conservată doar în medie, nu în fiecare dezintegrare. Un teoretician în special, Wolfgang Pauli, nu s-a putut împăca cu acest mister. Pauli era cunoscut pentru abordarea sa critică şi rațională, ceea ce i-a adus porecla de „flagelul lui Dumnezeu". El nu a fost mulțumit de sugestia fizicianului olandezo-american Peter Debye, care i-a spus, în cadrul unei întâlniri la Bruxelles, să nu se mai gândească, pur şi simplu, la dezintegrarea beta. Pauli era hotărât să salveze conservarea impulsului şi a reuşit să găsească o soluție teoretică, dar, spre groaza sa, aceasta a înrăutățit şi mai mult situația.

— Am făcut un lucru îngrozitor, a spus el. Am postulat o particulă care nu poate fi detectată.

Pauli şi-a prezentat pentru prima dată ideea altor fizicieni într-o scrisoare din 1930. Poate că, a sugerat el, o particulă mică, neutră din punct de vedere electric, transporta energia? Ideea i s-a părut atât de absurdă, încât le-a spus destinatarilor săi că „nu îndrăzneşte să publice nimic" despre ea şi că se adresează mai întâi „dragilor săi oameni radioactivi" pentru a-i întreba cât de probabilă este găsirea de dovezi experimentale pentru o astfel de particulă. Problema, aşa cum Pauli ştia foarte bine, era că se preconiza că aceste particule nu aveau nici masă şi nici sarcină electrică, ceea ce făcea practic imposibil ca ele să poată fi observate în cadrul unui experiment.

În 1933, ideea lui Pauli a fost transformată într-o adevărată teorie a dezintegrării beta de către Enrico Fermi,

un fizician italian respectat atât pentru competenţele sale teoretice, cât şi pentru cele experimentale. Fermi a numit noua particulă neutrino, sau „micuţa particulă neutră”, şi şi-a prezentat teoria revistei Nature.

Articolul a fost respins pe motiv că acesta „conţinea speculaţii prea îndepărtate de realitate pentru a fi de interes pentru cititor”. Un an mai târziu, la Manchester, fizicienii Rudolf Peieris şi Hans Bethe au calculat că neutrinii creaţi în dezintegrarea beta ar putea traversa întregul Pământ fără nicio interacţiune cu materia. De fapt, ei ar putea trece prin cantităţi de plumb cu o grosime măsurată în ani-lumină. Neutrinoul ar fi putut rezolva problema dezintegrării beta în teorie, dar la ce bun o particulă dacă este imposibil de detectat, astfel încât nu poate fi verificată? Timp de ani de zile, a fost mai mult sau mai puţin ignorată de experimentalişti.

Problema a rămas aşa timp de două decenii. În cele din urmă, în anii 1950, un fizician în vârstă de 33 de ani a decis să pornească în căutarea misteriosului neutrino. Această persoană era Fred Reines, care provenea dintr-un orăşel din New Jersey. Abia îşi terminase lucrarea de doctorat când a început să lucreze la Proiectul Manhattan, în divizia de teorie, şi a continuat să lucreze la Los Alamos după război. Interesul lui Reines pentru fizică îi fusese de folos statului său, dar, la fel ca multora dintre colegii săi, războiul i-a redirecţionat cunoştinţele către armele atomice. Reines a decis că era timpul să facă ceva de o importanţă fundamentală pentru fizică. După ce a petrecut săptămâni întregi în biroul său, singura idee care îi revenea în minte era căutarea particulei neutrino.

Cum ar putea să facă o sursă de neutrino? Cum ar putea să-i detecteze? Dacă ar putea construi detectorul potrivit, poate că ar putea dovedi existenţa lor. Un calcul rapid i-a arătat că, chiar dacă s-ar putea gândi la o modalitate de a

construi un detector, probabilitatea ca un neutrino să interacționeze ar fi atât de mică, încât detectorul ar trebui să fie enorm. Cel mai bine ar funcționa un fel de lichid, dar cele mai mari detectoare cu lichid din acele zile aveau un volum de aproximativ un litru. (Era anul 1951, iar camera cu bule a lui Donald Glaser abia apăruse, deşi aceasta nu putea oricum să detecteze direct neutrinoul cu sarcină neutră.) Cum putea să realizeze un detector cu un volum de o mie de ori mai mare decât ceea ce era considerat a fi standardul curent al tehnologiei? Nici Enrico Fermi nu avea nicio idee despre cum să realizeze un astfel de detector.[1]

Dacă Fermi nu a putut să o facă, cum ar fi putut altcineva? Părea imposibil şi, o vreme, Reines a renunțat la această idee.

Nu după mult timp, s-a trezit blocat pe aeroportul din Kansas City, după ce avionul său a fost oprit la sol din cauza unor probleme la motor. Un coleg de la Los Alamos, Clyde Cowan, era şi el blocat acolo. Cowan era inginer chimist şi fost căpitan în aviația americană, care lucrase la radar în timpul războiului. În timp ce Reines era un extrovertit strălucitor, Cowan era mai retras, mai puțin extrovertit, dar un experimentalist strălucit. Cei doi s-au plimbat prin aeroport vorbind, iar, când Reines a sugerat ideea să de a căuta neutrino, Cowan a acceptat-o. Cei doi au decis că vor căuta neutrino, pur şi simplu, pentru că toată lumea spunea că este imposibil. Directorii lor din Los Alamos au fost de acord cu propunerea ciudată şi, uite aşa, s-a născut o nouă colaborare.

Când şi-au lansat proiectul în 1951, Reines şi Cowan au fost fotografiați cu echipa lor de bază de cinci persoane, care stăteau pe o scară, adunați cu toții în jurul unui panou de carton. Pe acesta era desenat de mână un logo cu un ochi care te privea şi cuvintele „Project Poltergeist”. În spatele semnului, unul dintre ei ținea în mod inexplicabil o măturăă

mare în aer. Păreau binedispuşi, aşa cum ar fi trebuit să fie: experimentul propus de ei presupunea construirea unui rezervor enorm, umplerea lui cu lichide extrem de bine filtrate şi pregătite, înconjurarea lui cu electronice delicate şi speranţa că vor reuşi să surprindă o particulă aproape invizibilă.

Reines şi Cowan studiaseră teoria lui Fermi despre neutrino, care le spunea că aceştia ar interacţiona doar incredibil de rar, aşa că s-au gândit că primul lor pas era să găsească ceva care să le ofere cât mai mulţi neutrino posibil. Cu toate că fiecare dintre neutrino poate parcurge un drum lung prin materie, statistic, dacă ar fi suficient de mulţi, unul ar putea interacţiona din întâmplare cu un nucleu în drumul său prin detectorul lor. Prima lor idee a fost să încerce să prindă neutrinii de la o bombă atomică, dar în curând şi-au dat seama că noua tehnologie a reactoarelor de fisiune nucleară le oferea o alternativă mai puţin periculoasă.

Reactorul nuclear, au preconizat ei, ar produce un flux enorm de aproximativ zece mii de miliarde (10^{13}) de neutrino pe secundă pe centimetru pătrat. Nu la fel de mulţi ca o armă nucleară, este adevărat, dar o sursă constantă care ar putea furniza neutrino pe o perioadă foarte lungă de timp.

Reines şi Cowan şi-au concentrat atenţia asupra căutării unei reacţii prezise de teoria lui Fermi, în care un proton captează un neutrino, transformându-se într-un neutron şi emiţând un pozitron. [2] În urma acestui proces, ei se aşteptau să vadă o urmă în două părţi a unui neutrino. În primul rând, pozitronul ar fi anihilat un electron şi ar fi creat un fulger de raze gamma, care ar fi fost semnul ce ar fi indicat că un neutrino a vizitat detectorul. A doua parte a urmei ar proveni de la neutronul emergent, care ar fi absorbit de un nucleu şi ar fi emis o rază gamma aproximativ cinci microsecunde mai târziu. Proiectul

Poltergeist avea nevoie de un sistem care să poată capta două fulgere de raze gamma, la cinci microsecunde distanță. Această semnătură, sperau ei, ar putea distinge un neutrino de o rază cosmică sau de alt zgomot de fond.

După ce şi-au dat seama ce căutau, au proiectat un detector. Aici au intrat în joc două progrese tehnologice recente. Primul a fost descoperirea faptului că unele lichide organice transparente emit lumină vizibilă atunci când trece prin ele o rază gamma sau o particulă încărcată. Acest „scintilator lichid" ar oferi mici sclipiri, care ar putea fi apoi captate de o altă invenție inteligentă, tubul fotomultiplicator. Aceste tuburi cu vid seamănă fizic cu un bec lung plin de componente electronice. Atunci când o sclipire de lumină loveşte partea din față a unuia dintre aceste tuburi cu vid, aceasta este transformată în electroni (prin efectul fotoelectric, aşa cum s-a discutat în capitolul 3) care sunt amplificați într-un impuls electric suficient de mare pentru ca electronica să-l poată măsura.

Tuburile fotomultiplicatoare urmau să fie ochii experimentului. [3] După cum se poate vedea, echipa avea nevoie de cunoştințe de chimie şi electronică, precum şi de fizică.

De asemenea, echipa a făcut pasul de a proiecta o metodă de măsurare complet electronică. Nu a fost nevoie să analizeze milioane de fotografii, ca în cazul camerei cu ceață sau al camerei cu bule. Dacă neutrinii chiar interacționau în scintilatorul lichid, tuburile ar fi captat secvența specifică de sclipiri şi le-ar fi afişat sub formă de impulsuri scurte pe un osciloscop. [4] Sincronizarea dintre impulsuri ar fi confirmat prezența unui neutrino.

Măsurătorile electronice aveau dezavantajul de a fi separate cu un pas față de ceea ce se întâmpla în experiment. Ar fi fost mai greu să înțeleagă intuitiv datele când nu aveau de privit decât câteva impulsuri scurte

înregistrate. Orice sclipire de raze gamma în detector deschidea posibilitatea ca, cinci microsecunde mai târziu, un flash întâmplător să îi păcălească pe fizicieni să creadă că au văzut un neutrino. Trebuiau să se asigure că acest lucru nu se va întâmpla, dar exista o singură modalitate de a face asta: trebuiau să elimine orice altă sursă posibilă de radiații din mediul înconjurător. În acest moment a început munca grea cu adevărat.

Mediul de lucru al lui Reines şi Cowan era o clădire de tip depozit, izolată şi neîncălzită. Soseau continuu camioane cu piese pentru experimentul lor, umplând clădirea până când erau înconjurați de stive de cutii de două ori mai înalte decât ei. Echipa a petrecut luni de zile testând diferite combinații pentru scintilator şi măsurând răspunsul tuburilor fotomultiplicatoare pentru a se asigura că electronica funcționează. Lipsa încălzirii a început să fie resimțită puternic în timpul iernii, deoarece lichidul din scintilator trebuia menținut la peste 16 grade Celsius pentru a evita ca acesta să se transforme din limpede în tulbure şi să distrugă experimentul. Au adăugat încălzitoare electrice pentru a se asigura că acesta poate fi menținut cald, dar nu şi-au putut permite să plătească factura pentru a se încălzi şi ei.

Prima versiune a detectorului era în curs de realizare, într-un prototip denumit „El Monstro”. Când asta le-a arătat că tehnologiile ar trebui să funcționeze împreună, au construit un al doilea detector, pe care l-au poreclit „Herr Auge”, sau „Domnul Ochi”. Depăşind cu mult detectoarele de un litru care existaseră înainte, ajunseseră acum la o capacitate de 300 de litri într-un cilindru înconjurat de nouăzeci de tuburi fotomultiplicatoare.

În continuare, au trecut la sarcina herculeană de a elimina sursele de radiații care produceau raze gamma dispersate în detectorul lor. Unele surse erau evidente şi

puteau fi prezise: neutronii care proveneau de la reactorul nuclear puteau fi blocați cu un strat gros de ecranare realizat din blocuri de parafină. Nu s-a irosit niciun ban comandând aceste materiale de la o companie specializată. Echipa a fabricat singură blocurile, curățând zăpada din fața clădirii şi turnând manual fiecare bloc, gata să fie transportat la locul reactorului.

Alte surse de radiații au fost mai greu de îndepărtat, deoarece Herr Auge capta radiații pe care contoarele Geiger şi alte instrumente ale lor nu le captau. Herr Auge s-a dovedit a fi cel mai bun detector de raze gamma construit vreodată. Era atât de sensibil, încât au coborât în el chiar şi membri ai echipei, pentru a vedea dacă putea detecta radiațiile din corpul uman. Au descoperit o rată de numărare uşor detectabilă provenind de la cantitatea infimă de potasiu-40 radioactiv din corpurile secretarei şi ale colegilor lor. [5] Sensibilitatea s-a dovedit a fi exact ceea ce aveau nevoie şi i-a făcut să realizeze că detectorul putea ajuta să se construiască şi singur, într-o anumită măsură.

Înainte de a construi fiecare piesă nouă, o plasau în Herr Auge pentru a măsura nivelul de radioactivitate. Alama şi aluminiul erau mai radioactive decât fierul şi oțelul. Chiar şi potasiul din sticla tuburilor fotomultiplicatoare contribuia la zgomotul de fond al detectorului. Unele componente radioactive au fost găsite în structura fizică a detectorului, care a trebuit apoi să fie demontată şi înlocuită. De fiecare dată, au fost înlocuite cu mare atenție toate materialele care produceau zgomot de fond. Pare un nivel extrem de perfecțiune, dar trebuiau să fie siguri de sursa literalmente a fiecărei sclipiri de fotoni din detectorul lor, şi s-a dovedit că existau multe surse.

După luni de muncă, erau gata să pornească. Au transportat şi au instalat detectorul în apropierea unui reactor nuclear din Hanford, Washington. Apoi, au aşteptat.

Ştiau că nu va exista un moment „aha!”, ci doar o acumulare treptată de evenimente individuale pe care le vor analiza atunci când vor fi colectat suficiente date. Timp de câteva luni, echipa s-a ocupat pe rând de experiment, aşteptând şi observând cum sistemul lor stătea liniştit în incinta sa puternic ecranată.

Când s-au regrupat şi au analizat datele, se părea că au avut câteva sclipiri luminoase care corespundeau unor neutrino. Erau rezultate ispititoare, dar încă nu convingătoare. Era, în continuare, prea mult zgomot de fundal în date pentru a putea anunța o descoperire. Zgomotul nu provenea de la radiațiile produse de om sau de la materialele detectorului, ci de la razele cosmice. Lucraseră atât de mult pentru a reduce radiațiile rătăcitoare, dar acum trebuiau să elimine această ultimă sursă. Exista o singură modalitate fezabilă de a-şi proteja experimentul de radiațiile venite din spațiu: trebuiau să-l mute sub pământ.

Din fericire, la Savannah River Site, un reactor nuclear din Carolina de Sud, era disponibil un subsol, iar proprietarul a fost dispus să îi lase pe fizicieni să îşi instaleze experimentul la 12 metri sub el. Lui Reines şi Cowan li s-au alăturat acum mai mulți colegi de la Los Alamos pentru a reproiecta şi reconstrui întregul detector.

La sfârşitul anului 1955, Proiectul Poltergeist era cunoscut în mod oficial sub numele de Savannah River Neutrino Experiment. Instalația se dezvoltase ca un sendviş cu trei straturi de scintilație, cu rezervoarele sale dreptunghiulare cântărind zece tone. Detectorul se afla sub reactor, acoperit de straturile sale de ecranare, în timp ce cablurile electronice transportau semnalele către o remorcă din exterior.

Reines şi Cowan au rămas la Savannah River pentru a coordona experimentul timp de aproximativ cinci luni. După

ce toate elementele chimice şi electronice au fost puse la punct, totul s-a rezumat la colectarea atentă a datelor, sclipire cu sclipire. Erau plini de speranță de fiecare dată când vedeau, doar o dată sau de două ori pe oră, aprinderea şi stingerea caracteristice celor două sclipiri la cinci microsecunde distanță, care şopteau neutrino.

Erau hotărâți să se asigure că nu fusese o întâmplare. Nimic nu a fost lăsat la voia întâmplării. Au testat detectorul cu o sursă de pozitroni pentru a se asigura că sclipirea luminoasă a pozitronului se aprindea corect şi apoi au încercat cu o sursă de neutroni pentru a se asigura că înregistrează şi stingerea aşteptată. Au pompat lichidul scintilator până la capăt, au recalibrat amestecul pentru a schimba momentul celei de-a doua sclipiri de lumină şi au verificat dacă a avut efectul dorit. Aşa a fost. În tot acest timp au înregistrat date, timp de 900 de ore când reactorul era pornit şi 250 de ore când era oprit.

Într-un efort final, pentru a fi complet siguri că nu vedeau doar neutroni de fundal de la reactor, au adus camioane pline cu saci de nisip de la fabrica de cherestea locală şi i-au îmbibat cu apă. Unul câte unul, i-au transportat la locul experimentului şi au construit ziduri groase de un metru şi douăzeci de centimetri în jurul detectorului. Efortul colosal a asigurat o protecție suplimentară cu apă suficientă pentru a bloca toți neutronii din reactor. Şi, cu toate acestea, încă mai înregistrau aprinderea şi stingerea. Semnalul neutrinilor a rămas fidel.

Momentul „Evrika!” nu a venit imediat, ci printr-o acumulare treptată de date, până când nu au mai existat îndoieli. După ce au adunat toate datele, existau de cinci ori mai multe semnale de neutrino atunci când reactorul era pornit decât atunci când era oprit. Din cele 100 de bilioane (10^{14}) de neutrino pe care reactorul îi emitea în fiecare secundă, reuşiseră, în ciuda şanselor infime, să proiecteze

un sistem care să poată capta câțiva în fiecare oră şi să le măsoare interacțiunile. La 25 de ani după ce Pauli prezisese o particulă care nu putea fi detectată, Reines, Cowan şi echipa lor au realizat imposibilul.

„Suntem bucuroşi să vă informăm că am detectat cu siguranță neutrino", i-au scris ei într-o telegramă lui Pauli, care şi-a întrerupt şedința la care participa la CERN pentru a o citi cu voce tare şi a ține o miniprelegere improvizată. Legenda spune că Pauli a băut mai târziu o ladă întreagă de şampanie cu prietenii săi, ceea ce ar putea explica de ce telegrama de răspuns nu a ajuns niciodată la Reines şi Cowan. Pe ea scria: „Cel care ştie să aştepte primeşte totul".

Misteriosul neutrino fusese, în sfârşit, găsit, iar legea conservării impulsului a fost confirmată chiar şi la cea mai mică scară, explicând procesul de dezintegrare beta radioactivă. Neutrinoul nu mai era doar o născocire a imaginației teoretice, ci un lucru real, tangibil în natură: o particulă greu de observat, neutră, uşoară, cu capacitatea de a călători în cele mai îndepărtate colțuri ale Universului fără a fi oprită. Descoperirea neutrinoului a deschis un domeniu complet nou de cercetare.

De la acea primă detectare a acestuia, au apărut tot mai multe întrebări despre neutrino: care sunt proprietățile lor? Există un singur tip sau mai multe? Sunt stabili sau au o durată de viață limitată? Ce procese din Univers îi creează? Ca multe dintre experimentele pe care le-am văzut, Proiectul Poltergeist a creat o avalanşă de noi întrebări, iar în timp, majoritatea – dar nu toate – au primit răspuns. În cele din urmă, misteriosul neutrino s-a dovedit a fi mai important decât se credea anterior. Neutrinii nu ne-au ajutat doar să înțelegem dezintegrarea radioactivă; ei ne-au condus la o nouă viziune asupra Soarelui, a supernovelor şi a originii materiei.

Importanța şi bogăția din ce în ce mai mari ale acestui domeniu de cercetare de-a lungul timpului pot fi observate prin recunoaşterea comitetului premiului Nobel.

Au fost acordate trei premii Nobel pentru fizica neutrinilor, toate la mult timp după experimentul inițial. Primul, în 1995, i-a revenit lui Reines, la zeci de ani după descoperirea lor (Cowan decedase, din păcate, cu treisprezece ani mai devreme), al doilea, lui Ray Davis şi Masatoshi Koshiba în 2002, iar al treilea, lui Takaaki Kajita şi Arthur MeDonald în 2015.

Căutarea inițială a neutrinilor a fost motivată de misterul dezintegrării beta, iar propunerea lui Pauli cu privire la neutrino a venit în 1933, la doar un an după ce Chadwick a descoperit neutronul. Acum, putem reuni aceste idei pentru a înțelege mai bine ce se întâmplă într-un nucleu atomic în timpul dezintegrării beta: un neutron se transformă în proton, schimbând tipul elementului şi eliberând un electron (pentru a echilibra sarcina electrică) şi un neutrino.

Neutrinoul transportă o parte din energia din reacție, împărțind energia totală disponibilă cu electronul, acesta fiind motivul pentru care electronii aveau energii impredictibile. Nici electronul, nici neutrinoul nu există înainte de dezintegrare. Imaginea începea să se întregească. Dar, chiar în timp ce se întâmpla asta, un al doilea experiment concurent i-a dat jos pe fizicieni de pe piedestalul lor.

Atunci când neutrinoul a fost detectat pentru prima dată, la mijlocul anilor 1950, fizicienii abia îşi dădeau seama că Soarele este un cuptor nuclear, care îşi produce energia printr-o reacție nucleară în lanț, numită lanțul „p-p”, transformând protoni în heliu printr-o serie de etape. [7] Dacă teoriile despre Soare erau corecte, un număr imens de neutrino ar trebui să zboare direct din Soare cu aproape

viteza luminii, ajungând pe Pământ aproximativ opt minute mai târziu.[8]

Radiochimistul Ray Davis de la Brookhaven avea deja un avans de un an față de primul experiment cu neutrino al lui Reines şi Cowan. Davis nu era în căutarea unor sclipiri de lumină. El testa o idee emisă de un alt teoretician, Bruno Pontecorvo, care a prezis că un neutrino care interacționează cu un atom de clor ar produce un atom radioactiv de argon. Specializarea lui Davis era în radiochimie; dacă cineva urma să găsească câțiva atomi de argon radioactivi individuali, el era acela.

Încercarea lui Davis de a detecta neutrino s-a bazat pe utilizarea unor cuve enorme de lichid de curățare chimică – un lichid ieftin şi uşor de procurat care conține clor. A început cu 3 800 de litri şi a continuat să crească de acolo. În ciuda avansului său, Davis a ratat ocazia de a fi primul care a descoperit neutrinii, deoarece reactoarele nucleare – şi dezintegrarea beta – produc, de fapt, echivalentul lor de antimaterie, antineutrinii, care sunt de tipul celor detectați de Cowan şi Reines. Cu toate acestea, experimentul lui Davis a fost capabil să detecteze doar tipul „normal” de neutrino. Deşi a fost devansat în descoperire de Cowan şi Reines, cu timpul, Davis şi-a mutat atenția spre detectarea neutrinilor nu de la reactoare, ci de la Soare. Această decizie a fost esențială: a făcut ca fizica neutrinilor să treacă de la un efect secundar curios al dezintegrării beta la prim-planul cercetării în domeniul fizicii particulelor elementare.

Davis a colaborat cu un tânăr fizician teoretician pe nume John Bahcall, care a efectuat calculele dificile pentru a prezice rata de producție a neutrinilor solari.

În 1964, cei doi colaboratori au publicat lucrări cu planurile lor. Erau încrezători că ar putea capta neutrino solari, poate zece sau douăzeci pe săptămână, dar, pentru a face acest lucru, ar fi fost nevoie de un experiment de o sută

de ori mai mare decât versiunea lor deja enormă – o perspectivă atât de ambițioasă, încât a ajuns în revista Time înainte de a fi finanțat.

În 1965, o cavernă enormă a fost excavată în adâncul minei Homestake din Dakota de Sud. În ea au construit un rezervor de 380 000 de litri şi l-au umplut cu zece vagoane de tren pline cu lichid de curățare chimică. Cu o perseverență incredibilă şi o muncă de chimie atentă, efortul mamut a dat roade. Prin colectarea câtorva zeci de atomi de argon radioactiv, Davis a reuşit să demonstreze că a detectat neutrino solari. Problema era că el a găsit doar o treime din numărul de neutrino pe care Bahcall îl preconizase. Au verificat calculele, dar nu au putut găsi nicio eroare. Davis s-a întors la lucru şi a continuat să colecteze date timp de aproape încă douăzeci de ani. În tot acest timp, misterul a persistat: exista o lipsă ciudată de neutrino provenind de la Soare.

Această problemă a neutrinilor solari a dat naştere întrebării: erau calculele greşite? Oare nu înțelegeau cum generează Soarele energie? Era ceva ciudat în legătură cu neutrinii? Oare Soarele încetase să mai producă energie şi noi, care depindeam de producția sa, eram în pericol? În cele din urmă, teoria preferată a fost aceea că neutrinii se transformau în altceva sau dispăreau între Soare şi Pământ. Ideea că neutrinii se comportă în acest mod destul de ciudat a fost sugerată de Pontecorvo în 1957, [1] dar nu a fost luată în serios multă vreme.

Această întrebare a fost cea care l-a motivat pe Art MeDonald şi pe alți aproximativ 100 de colaboratori să construiască Observatorul de Neutrino din Sudbury (SNO – Sudbury Neutrino Observatory).

MeDonald, originar din Noua Scoție, Canada, a fost interesat de matematică încă din copilărie şi a continuat să studieze fizica, obținând doctoratul în fizică nucleară la

Caltech în 1969. El a renunțat la o catedră la Princeton şi s-a înapoiat în Canada, în 1989, pentru a conduce SNO. Sub conducerea sa, SNO a fost construit la mai mult de o milă sub pământ, într-o mină de nichel din Ontario, iar împreună cu cei 100 de colegi ai săi, uriaşul experiment a funcționat între 1999 şi 2006. Takaaki Kajita a condus un experiment similar într-o mină de zinc din Japonia, numit Super-Kamiokande. Aceste două experimente aveau să ducă la un premiu Nobel pentru fizică comun în 2015.

SNO este, de fapt, o cameră sterilă subterană enormă. Din fericire, se poate vizita virtual, astfel încât să fie scutită de disconfortul[11] unui vizitator sau om de ştiință în carne şi oase, care trebuie să facă duş, să se schimbe şi apoi să treacă prin duşuri de aer pentru a ține orice murdărie din mină departe de experimentul sensibil din inima sa. Odată ajuns înăuntru, se simte o atmosferă destul de austeră. Este doar structura unei mine transformate în laborator. Camera de control este formată din cinci monitoare de calculator pe câteva birouri, aşezate lângă câteva rafturi pline de echipamente. Tăvi de cabluri şi țevi se întind de-a lungul peretelui, deasupra înălțimii capului. Dacă nu ai vedea pereții de stâncă, ai putea uita că experimentul se află la aproape 2 000 de metri sub pământ, iar pericolele reprezentate de asta sunt menționate de un semn de pe perete care le reaminteşte oamenilor de ştiință: „Siguranță şi calitate. Pretutindeni”.

Vizitatorii se pot plimba – virtual – din camera de control pe un coridor şi printr-o cameră plină de maşini. Apoi intră în vasul efectiv de detectare.

Suspendat virtual în interiorul detectorului gol, ai senzația că ai intrat într-o sferă de oglindă cu partea reflectorizantă înăuntru. Din toate unghiurile se văd 9 600 de tuburi fotomultiplicatoare de culoare aurie. Chiar şi prin intermediul unui ecran de computer, frumusețea

caleidoscopică a sferei geodezice cu diametrul de doisprezece metri este uluitoare. Un bărbat îmbrăcat într-o salopetă albastră şi cu o şapcă portocalie pe cap stă vizavi, eclipsat de experimentul din jurul său. Turul virtual a fost făcut când detectorul era gol, dar, în mod normal, toate acele detectoare aurii ar trebui să fie ochii experimentului, privind spre interior, spre o mie de tone de apă grea împrumutată de la flota de reactoare din Canada, cu o valoare impresionantă de 300 000 000 de dolari canadieni.

Cea mai nebunească idee s-a dovedit a fi corectă. Există trei tipuri de neutrino, iar cei individuali oscilează: adică un neutrino care avea un anume tip la creare – de exemplu, neutrino de electron – oscilează între starea sa inițială şi celelalte două tipuri de neutrino, numiți neutrino miuonici şi neutrino tauonici.

Experimentul lui Davis a fost sensibil doar la neutrinii electronici, astfel încât, dacă neutrinii solari ar fi oscilat către celelalte tipuri, ar fi ratat detectarea a două treimi dintre ei. Prima dovadă în acest sens a fost furnizată de detectorul japonez Super-Kamiokande[12] al lui Kajita în 1998, care consta în 50 000 de tone de apă ultrapură într-un rezervor aflat la 1 000 de metri sub pământ, cu 13 000 de tuburi fotomultiplicatoare care căutau sclipiri luminoase produse direct de interacțiunile cu neutrinii. Rezultatele lui Kajita au susținut ideea că neutrinii atmosferici creați de razele cosmice se schimbă de la un tip la altul în timpul zborului. Acest lucru nu a rezolvat încă problema neutrinilor solari, deoarece nu se analizau neutrino provenind de la Soare. În cele din urmă, la 18 iunie 2001, Art MeDonald şi colaboratorii SNO au anunțat că au folosit frumosul lor detector auriu pentru a demonstra că neutrinii solari oscilează, rezolvând astfel misterul neutrinilor solari lipsă pe care Ray Davis îl observase cu aproape cincizeci de ani mai devreme.

După ceremonia de decernare a premiului Nobel de la Stockholm din 2015, MeDonald a vizitat numeroasele institute care au făcut posibilă această victorie.

Unul dintre acestea a fost Oxford, unde a sărbătorit alături de numeroşii săi colegi în sala de mese cu lambriuri de lemn de la Mansfield College. Deşi nu sunt fizician din domeniul neutrino, am fost destul de norocoasă să particip. Între felul principal şi desert, MeDonald s-a ridicat pentru a lua cuvântul.

— Nimeni nu întâlneşte neutrino în viaţa de zi cu zi, a spus el. Poate că, o dată în viaţă, un neutrino va schimba unul dintre atomii tăi şi nici măcar nu-ţi vei da seama.

Acum ştim că neutrino sunt abundenţi – ei sunt cea mai comună particulă pe care o cunoaştem în Univers. Zeci de miliarde de ei trec prin unghia ta în fiecare secundă, dar sunt foarte, foarte greu de detectat. SNO este un exemplu extrem pentru abordarea pe care fizicienii particulelor elementare au fost nevoiţi să o adopte pentru a înţelege particule atât de misterioase precum aceşti neutrino.

Datorită experimentelor lui MeDonald şi Kajita, ştim acum că neutrinii îşi pot schimba tipul în timp şi la distanţă. Aceasta este o idee foarte ciudată. Poate că cea mai bună analogie pe care am întâlnit-o pentru a o descrie este cea a lui Emily Conover de la Universitatea din Chicago, [13] care compară un neutrino cu Cenuşăreasa care merge cu trăsura la bal. Ea porneşte în ceva care cu siguranţă arată ca o trăsură, dar, pe măsură ce se apropie de palat, probabilitatea ca trăsura ei să se transforme într-un dovleac devine tot mai mare. Gândindu-ne în termeni de mecanică cuantică, putem spune că trăsura este simultan un dovleac şi o trăsură şi că depinde de locul în care o observi de-a lungul traiectoriei sale pentru a şti care dintre ele este. Dacă Cenuşăreasa ar călători pe un neutrino de electron, există o şansă ca, în momentul în care va ajunge la bal (sau la un

detector), să se regăsească pe un neutrino miuonic sau tauonic.

Această oscilație necesită – din punct de vedere matematic – ca neutrinii să aibă o masă mică, însă încă nu ştim care neutrino este cel mai greu şi nici care este exact masa fiecăruia dintre ei. Alte particule nu oscilează; aceasta pare a fi o proprietate specifică neutrinilor. Tot ce ştim este că, dacă am aduna toate cele trei mase, ar fi totuşi de un milion de ori mai uşoare decât un electron. Nu ştim de ce sunt atât de uşoare.

Neutrinii nu simt forța tare sau electromagnetică; ei simt doar forța slabă şi gravitația. Din perspectiva unui neutrino, materia abia dacă există; aceasta este reprezentată doar de câțiva electroni care se învârt în spațiu. Acest lucru îi face foarte greu de detectat, dar îi face, de asemenea, un instrument-cheie pentru investigarea interacțiunii slabe, evitând, în acelaşi timp, interferența forței electromagnetice şi a forței puternice. În timp, această observație a dus la crearea de fascicule de neutrino acționați de acceleratoare de particule (fasciculele de protoni creează pioni, care apoi se dezintegrează în miuoni şi neutrino) şi la acordarea premiului Nobel, în 1988, pentru Leon Lederman, Jack Steinberger şi Melvin Schwartz, care au stabilit pentru prima dată că neutrinii de electroni şi de miuoni sunt diferiți (cel de-al treilea tip, neutrinii tauonici, a fost, în cele din urmă, detectat în cadrul unui experiment dedicat în 2000, la Fermilab).

În prezent, ştim, de asemenea, că există şi alte caracteristici neobişnuite ale neutrinilor care par să îi diferențieze de toate celelalte particule. De exemplu, majoritatea particulelor pot fi „de stânga” sau „de dreapta”, dar nu şi neutrinii.

Toți neutrinii sunt de stânga şi toți antineutrinii sunt de dreapta. În cazul particulelor, această orientare înseamnă

direcția de rotație (spinul) a particulelor şi felul în care aceasta este legată de direcția în care se deplasează particula.

Dacă îți faci mâna pumn, observi cum, chiar dacă îți îndrepți degetul mare în aceeaşi direcție (direcția de deplasare), degetele mâinii stângi şi ale mâinii drepte se îndoaie în direcții opuse; acest lucru este similar cu orientarea unei particule (numită şi chiralitate).

Nu ne-am dat seama de ce neutrinii nu există atât în varietăți de stânga, cât şi de dreapta. Ceea ce ştim este că există multe surse de neutrino în Univers. În 1987, mai multe experimente au detectat explozii de neutrino de la o supernovă, dând naştere unui nou domeniu, astronomia neutrinilor. Într-o stea, fotonii de lumină interacționează în mod constant, fiind absorbiți şi reemişi de atomi. Fotonii pot avea nevoie de 100 000 de ani pentru a călători de la nucleul unei stele până la suprafață. Spre deosebire de aceştia, neutrinii călătoresc nestingheriți în spațiu, permițându-ne să vedem în inima Soarelui şi în supernove într-un mod în care alte particule nu pot ne pot ajuta să o facem. Dincolo de galaxia noastră, în spațiu se creează particule cu energie extrem de mare şi este foarte probabil ca neutrinii să fie într-o zi mesagerii care ne vor învăța cum funcționează aceste acceleratoare de particule cosmice. Poate că ne vor oferi un mecanism pe care să-l copiem în laboratoarele noastre de aici, de pe Pământ.

Neutrinii sunt creați şi mult mai aproape de casă. De fapt, dezintegrarea beta are loc şi în interiorul Pământului, producând antineutrino. [14] Detectorul Borexino, un experiment conceput pentru a căuta aceşti geoneutrino (în plus față de neutrinii solari), se află într-un laborator din adâncurile unui munte din Gran Sasso, Italia. Colaborarea a 100 de fizicieni din Italia, Statele Unite, Germania, Rusia şi Polonia încearcă să afle cât de mult din căldura Pământului

este cauzată de căldura radiogenă, care este generată în interiorul Pământului de dezintegrarea radioactivă a potasiului-40, a toriului-232 şi a uraniului-238, în principal. Acest lucru este incredibil de important pentru geologi, deoarece căldura determină aproape toate procesele dinamice de pe Pământ, de la vulcani la cutremure, şi a dat naştere unui domeniu complet nou, numit geofizica neutrinilor.

Dincolo de noile domenii ştiinţifice interesante şi de întrebările fascinante din fizica particulelor elementare, atunci când mi-am propus să scriu despre Proiectul Poltergeist şi succesorii săi, ştiam că trebuie să recunosc în acest moment că, în prezent, nu avem nicio utilizare directă a neutrinilor în viaţa noastră de zi cu zi. În ciuda acestui fapt, ei sunt atât de importanţi pentru povestea generală a fizicii particulelor elementare, încât excluderea lor ar fi o omisiune impardonabilă.

Neutrinoul este un exemplu clasic de cercetare motivată de curiozitate care nu pare să aibă aplicaţii practice. În comparaţie cu un electron care fulgeră de colo-colo şi care interacţionează cu materia prin intermediul forţei electromagnetice sau cu un neutron care interacţionează cu nucleele atomice prin intermediul forţei tari, neutrinoul fără sarcină şi aproape fără masă este ca un puf de particulă abia perceptibil care nu interacţionează cu aproape nimic. Cu toate acestea, dacă privim în urmă la experimentele pe care le-am văzut până acum, ştim că nu este întotdeauna evident care va fi utilizarea specifică a unei descoperiri.

Multe dintre descoperirile pe care le-am văzut până acum au fost premature în comparaţie cu tehnologiile de la vremea lor: lumina sincrotronică nu părea utilă la început, nici electronul. Efectul fotoelectric nu a fost utilizat pe deplin în tehnologia de zi cu zi decât după zeci de ani. Acceleratoarele

de particule nu au fost inventate pentru a produce izotopi medicali sau pentru a trata cancerul.

Nimeni nu aştepta cu nerăbdare aceste descoperiri, cu excepția fizicienilor care le-au făcut, şi, chiar şi atunci, descoperirile nu au fost întotdeauna intenționate.

Deşi probabil neutrinii nu vor fi niciodată la fel de utili ca electronii în mod direct, cunoştințele pe care le-am derivat cu ajutorul lor sunt importante şi – incredibil – există câteva posibile aplicații în curs de realizare.

În mina Boulby din nordul Angliei, o colaborare dintre Marea Britanie şi SUA construieşte în prezent un nou experiment numit WATCHMAN (WATer CHerenkov Monitor of ANtineutrinos). [15] Acest proiect va utiliza un detector de neutrino pentru a monitoriza de la distanță reactoarele de fisiune nucleară prin detectarea fluxului de neutrino pe care aceştia îl creează. Proiectul ar putea aduce o contribuție unică la securitatea globală prin crearea unei modalități fiabile de a verifica dacă reactoarele respectă tratatele de neproliferare. Deoarece neutrinii sunt atât de greu de oprit, pur şi simplu, nu există nicio modalitate de a ascunde un reactor nuclear în funcțiune de un astfel de detector.

De asemenea, neutrinii ne pot ajuta indirect să trecem de la combustibilii fosili şi reactoarele nucleare de fisiune ca sursă de energie la reactoarele de fuziune: cea mai mare speranță, cu bătaie lungă însă, de a avea electricitate abundentă, sigură şi cu emisii reduse de carbon în viitor. Reactoarele de fuziune recreează reacții nucleare similare cu cele care alimentează Soarele, fără a avea potențialul de a „deveni critice”, dar, pentru a face să funcționeze unul dintre ele, este necesar să avem o încredere absolută în cunoştințele noastre de fizică nucleară. Aceste cunoştințe au fost dobândite, în parte, în urma experimentelor cu neutrinii solari realizate de Ray Davis, Super-Kamiokande şi SNO,

care au confirmat că modelul nostru privind felul în care se formează neutrinii în Soare este corect.

Mai departe, în viitor, ar putea exista aplicații directe ale neutrinilor şi ale cunoştințelor pe care le avem despre aceştia. Datorită capacității lor de a parcurge distanțe cosmice uriaşe cu aproape viteza luminii fără obstacole, neutrinii ar putea chiar deveni, într-o zi, un fel de sistem de mesagerie cosmică.

Dacă există civilizații avansate care trăiesc pe una dintre miile de exoplanete pe care le-am descoperit, neutrinii ar putea fi felul în care acestea comunică între ele. Sună mai degrabă a SF decât a ştiință, dar, în 2012, un experiment cu neutrino numit MINERvA (Main Injector Neutrino ExpeRiment to study v-A interactions) de la Fermilab a încercat acest lucru. Aceştia au codificat un fascicul de neutrino cu un mesaj binar folosind un accelerator de protoni, l-au trimis printr-un kilometru de stâncă până la un detector şi l-au decodificat din nou cu succes. [1] Acest lucru ar putea fi util şi pe Pământ, de exemplu, pentru submarinele care încearcă să comunice prin apă, mediu în care undele radio sunt distorsionate de obstacole. Cu ajutorul neutrinilor, ar putea comunica nu doar prin apă, ci şi prin centrul Pământului, în linie directă.

Este corect să spunem că neutrinii nu sunt încă gata de utilizare şi poate că nu vor fi niciodată. Nu putem prezice viitorul, dar ceea ce putem spune despre neutrino este că rezultatul încercării noastre de a-i înțelege a contribuit la viața noastră în moduri indirecte, dar profunde. Am văzut deja că SNO este localizat într-un laborator subteran la mare adâncime din Canada, care acum a fost extins şi redenumit SNOLAB. Când spun „adânc sub pământ”, vorbesc serios. La 2 100 de metri sub pământ, laboratorul este de douăzeci de ori mai adânc decât Large Hadron Collider, care va apărea mai târziu în această carte.

Presiunea aerului creşte cu 20% în timp ce cobori cu liftul timp de şase minute. Nigel Smith, directorul executiv al SNOLAB până în 2021, descrie călătoria ca fiind ca şi cum ai coborî cu un avion, fiind înconjurat de stâncă.

Laboratorul subteran nu găzduieşte doar fizicienii preocupați de particule elementare. Crearea acestuia a deschis posibilități în multe alte domenii ale ştiinței. Fiind atât de adânc în interiorul Pământului, este un mediu unic, deoarece laboratorul are un nivel incredibil de scăzut de radiații de fond provenite de la razele cosmice. Existența unei instalații subterane stabile şi curate, cu un nivel de radiații atât de scăzut, a permis realizarea unui amplu program de cercetare care a analizat impactul nivelurilor scăzute de radiații asupra celulelor şi organismelor. Niciun animal care trăieşte pe uscat nu a trăit vreodată – şi nici nu a evoluat – fără a fi expus la radiațiile de fond provenite de la razele cosmice, aşa că aceste experimente îi ajută pe biologi să înțeleagă care este impactul atunci când se elimină aceste radiații. Acest lucru este important deoarece poate răspunde la întrebarea dacă radiațiile sunt întotdeauna rele pentru celule şi organisme, dacă provoacă întotdeauna daune sau dacă există un anumit nivel de radiație care este inofensiv sau poate chiar benefic pentru viață. Ne-ar putea spune mai multe despre faptul că evoluția este influențată de mutațiile aleatorii cauzate de radiații. Până în prezent, rezultatele par să indice faptul că viața are nevoie de un nivel scăzut de radiații. [17] Dacă alte experimente vor valida ipoteza, acest lucru va avea implicații enorme nu doar pentru oameni şi interacțiunile noastre cu radiațiile, ci şi pentru felul în care înțelegem existența vieții în alte părți ale cosmosului. Fără laboratoare subterane de mare adâncime, pur şi simplu, nu am putea face aceste cercetări.

De asemenea, SNOLAB se întâmplă să fie unul dintre cele mai bune locuri de pe (sau din?) Pământ pentru a efectua experimente pe computere cuantice. Există noi dovezi că timpul de decoerență, adică timpul în care un „bit” cuantic poate stoca informații înainte de a le pierde, ar putea fi limitat de radiația naturală de fond de la suprafața Pământului. În viitor, ar putea fi necesar să se utilizeze calculatoare cuantice în subteran. Pentru moment, cel puțin, aceste laboratoare oferă un spațiu rar pentru aceste lucrări de dezvoltare.

Neutrinoul a fost numit o fantomă, un mesager, o navă spațială, un firicel de nimic. A început ca o scuză pentru a salva o lege fundamentală a fizicii şi, în timp, a dus la câştiguri enorme în astronomie, cosmologie, geologie şi în înțelegerea noastră fundamentală în ceea ce priveşte materia.

Neutrinii fac acum parte din modelul standard al fizicii particulelor elementare, dar unele dintre proprietățile lor – faptul că sunt de stânga, că au o masă, că îşi schimbă tipul – ne-au arătat că trebuie să existe o fizică dincolo de modelul standard, ceea ce, bineînțeles, generează nenumărate întrebări. De ce neutrinii au masă? Sunt neutrinii propria lor antiparticulă? Oscilațiile neutrinilor şi ale antineutrinilor acționează în acelaşi mod şi, dacă nu, ar putea explica de ce vedem mai multă materie decât antimaterie în Univers? Oricât de mic ar fi, neutrinoul se dovedeşte a fi de un miliard de ori mai abundent în Univers decât materia care formează stelele, galaxiile şi pe noi. Acest fenomen i-a împins pe experimentatori şi teoreticieni deopotrivă la înălțimi tot mai mari, sau la adâncimi tehnice tot mai mari, pentru a-i desluşi secretele. În mod paradoxal, prin salvarea unei legi fundamentale a fizicii, neutrinoul este în prezent una dintre cele mai bogate surse de lacune de cunoaştere din fizică. Întăreşte convingerea că există

extraordinar de multe lucruri despre particulele şi forțele din Univers pe care încă nu le-am descoperit.

Capitolul 10

Acceleratoare liniare: descoperirea quarcilor

De-a lungul coastei de sud a Marii Britanii, o serie de vase gigantice din beton dau înspre mare, cel mai mare fiind un perete curbat de 200 de metri. De la distanță, ele arată ca nişte echipamente de satelit sau radio, dar sunt anterioare acestor tehnologii. Construite între 1915 şi 1930, aceste structuri modelate cu grijă sunt oglinzi acustice, care au fost instalate în scopul de a oferi un sistem de avertizare timpurie pentru avioanele inamice care se apropiau de țărm. Ideea a fost ingenioasă, folosind antene parabolice mari pentru a reflecta undele sonore într-un punct focal unde un operator ar fi ascultat zgomotul produs de elicea unui avion. Cu toate acestea, erau destul de ineficiente – ceea ce nu a contat prea mult, deoarece nu a trecut mult timp până când o nouă tehnică le-a făcut depăşite.

La sfârşitul anilor 1920, emițătoarele şi receptoarele radio începuseră să se răspândească, iar în 1935, fizicianul britanic Robert Watson-Watt a inventat un sistem care îi permitea să ricoşeze semnale radio cu unde scurte[1] de la obiecte aflate în mişcare, cum ar fi navele sau avioanele, şi să detecteze undele reflectate cu ajutorul unei antene pentru a localiza cu exactitate poziția unui obiect. El a numit sistemul „Radio Detection and Ranging”, sau radar. În 1939, când a izbucnit cel de-al Doilea Război Mondial, de-a lungul coastelor de sud şi de est ale Marii Britanii au fost instalate mai multe stații radar.

Radarul promitea să fie net superior oglinzilor acustice, dar, pentru a-şi atinge potențialul maxim, sistemul avea

nevoie de trei îmbunătățiri esențiale. În primul rând, trebuia să funcționeze la o lungime de undă şi mai mică pentru a putea detecta obiecte mici, cum ar fi submarinele germane U-boot. Aceste submarine, care atacau şi scufundau nave cu regularitate, puteau fi detectate, în principiu, cu un radar de înaltă frecvență dacă ieşeau la suprafață. În al doilea rând, sistemul avea nevoie şi de emițătoare radio mult mai puternice decât cele disponibile la acea vreme pentru a ajunge mai departe. Şi, în al treilea rând, era nevoie de un sistem radar care să poată fi montat pe avioanele de vânătoare, deci trebuia să fie mult mai mic şi mai uşor decât sistemele existente. Acest efort de a face ca radarul să funcționeze în timp de război a dus la progrese enorme în tehnologie, de la telecomunicații la tratamentul cancerului. În acelaşi timp, aceste progrese în tehnologia radar vor fi perfecționate de fizicieni pentru a face una dintre cele mai dificile descoperiri făcute vreodată: quarcii.

Pe coasta californiană, Russell Varian, absolvent de fizică la Stanford, şi fratele său mai mic, pilotul Sigurd Varian, locuiau într-o comunitate socialist-teozofică numită Halcyon, lucrând la propriile idei pentru tehnologia radar. Au încercat să construiască un laborator în comunitate pentru a lucra la ea, dar, în izolare, nu au avut prea mult succes. În 1937, frații au decis că ar fi util să lucreze mai îndeaproape cu fostul coleg de cameră al lui Russell din facultate, Bill Hansen.

Hansen era expert în tehnologia de emisie a undelor radio la Universitatea Stanford. Au încheiat o înțelegere cu universitatea, care nu le plătea niciun salariu, dar le oferea un buget de 100 de dolari şi urma să ia o cotă de 50% din profitul a tot ceea ce s-ar fi inventat în urma acestei întreprinderi.

Hansen a fost crescut în California şi a fost interesat de jucării mecanice şi electrice de la o vârstă foarte fragedă. Un

elev eminent, în special la matematică, a absolvit liceul la paisprezece ani şi s-a înscris la Stanford doi ani mai târziu, studiind mai întâi inginerie şi apoi fizică experimentală. La doctorat, Hansen a lucrat în domeniul fizicii atomice, ocazie cu care l-a cunoscut pe colegul său Russell Varian. Russell era adesea subestimat din cauza dislexiei sale. În acest moment, interesul lui Hansen nu mai era, pur şi simplu, acela de a genera unde radio, ci dorea să creeze un accelerator de particule pentru electroni.

Hansen s-a gândit că o cavitate metalică cu dimensiunile potrivite ar putea fi proiectată astfel încât undele electromagnetice să rezoneze în interiorul ei. Apoi, ar putea fi capabil să trimită un fascicul de electroni prin ea şi să folosească undele electromagnetice care oscilează în interior pentru a accelera fasciculul. El şi-a numit dispozitivul „rhumbatron", datorită felului în care undele ricoşau. Cu toate acestea, el a avut o problemă similară cu cea a pionierilor radarului: pentru a-l face să funcţioneze, a avut nevoie de o sursă de energie de frecvenţă radio cu o lungime de undă mai scurtă decât orice sursă existentă.

În 12 luni, Hansen şi fraţii Varian au inventat un dispozitiv numit klystron. În interiorul dispozitivului cilindric de mărimea unei cutii de conserve, un semnal radio de putere mică era aplicat unui fascicul de electroni care se deplasa printr-o serie de cavităţi, aşa cum îşi imaginase Hansen. Dispozitivul nu accelera electronii; în schimb, combinaţia dintre cavitate şi electronii care treceau crea o rezonanţă şi emitea unde electromagnetice. Rezultatul a fost că semnalul mic de intrare a fost amplificat de energia fasciculului de electroni, producând microunde de mare putere în gama de frecvenţe GHz. Contraintuitiv, denumirea de microunde nu înseamnă că lungimea de undă este mică – de fapt, lungimea de undă este de aproximativ zece centimetri, de aproximativ 200 000 de ori mai mare decât

lumina vizibilă pe care o pot percepe ochii noştri. Numele a fost adoptat deoarece undele produse sunt mai scurte decât undele radio cunoscute.

Această lungime de undă scurtă a însemnat că aparatul klystron în sine era mic şi uşor, cântărind doar câteva kilograme.

Klystronul nu era încă suficient de puternic pentru a fi utilizat pentru radar, dar reprezenta un important pas înainte – primul dispozitiv care funcţiona în domeniul microundelor şi care făcea asta în mod eficient şi stabil. [2] Cel puţin era primul dispozitiv despre care ştiau ei, deoarece nu aveau cunoştinţă de o invenţie simultană în Regatul Unit al Marii Britanii.

La 12 septembrie 1940, o delegaţie ultrasecretă formată din şase oameni, printre care se număra şi John Cockcroft, a sosit la Washington cu ceea ce a fost numit de istoricii americani „cea mai valoroasă încărcătură adusă vreodată pe ţărmurile noastre”. [3] Aceştia transportau un cufăr de tablă care conţinea un mic dispozitiv din cupru, precum şi o serie de documente care prezentau alte câteva invenţii britanice. În acest moment, Statele Unite erau încă un teritoriu neutru, iar planul[4] era ca Marea Britanie să predea, pur şi simplu, aceste secrete în schimbul unor resurse pentru dezvoltare şi producţie.

Dispozitivul de cupru din cufăr fusese realizat de fizicienii John Randall şi Harry Boot, la Universitatea din Birmingham, în 1939. Invenţia lor, [5] magnetronul cu cavitate, este un bloc cilindric de cupru cu o gaură centrală mare, înconjurată de alte găuri mai mici dispuse în jurul găurii centrale ca petalele unei flori.

Electronii circulă prin gaura centrală a dispozitivului, sub influenţa unui magnet şi, în timp ce trec pe lângă „petale” sau cavităţi, creează o rezonanţă ce produce unde electromagnetice. Cu cât dispozitivul este mai mic, cu atât

frecvența undelor pe care le creează este mai mare: acesta a funcționat la 3 GHz, o frecvență foarte asemănătoare cu cea a klystronului.

Atât magnetronul, cât şi klystronul puteau produce impulsuri de înaltă frecvență, cu o lungime de undă mult mai scurtă decât sistemele radar existente, ceea ce ar permite radarelor să detecteze obiecte mai mici şi să utilizeze antene mai mici.

Ambele erau compacte şi uşoare. Ceea ce a diferențiat magnetronul a fost faptul că putea produce impulsuri la un nivel de putere fără precedent şi putea fi folosit pentru a localiza avioane aflate la kilometri distanță. Britanicii au recunoscut potențialul magnetronului cu cavitate, aşa că au ținut dispozitivul secret, dar nu aveau capacitatea de producție necesară pentru a dezvolta tehnologia la scară largă. În contextul intensificării bombardamentelor germane, statul britanic a decis să împărtăşească tehnologia ultrasecretă cu Statele Unite şi să ceară ajutor.

La început, reprezentanții americani au fost reticenți să se implice, dar, în cele din urmă, au împărtăşit propriile prototipuri de dezvoltare a radarului, care, au recunoscut, se aflau într-un punct mort. Aveau nevoie de mai multă putere de emisie. Când John Cockcroft şi colegii săi au dezvăluit magnetronul cu cavitate, acesta a oferit imediat soluția: avea puteri de ieşire de o mie de ori mai mari decât klystronul. Ca urmare, guvernul SUA a finanțat fizicieni de la MIT pentru a crea în secret Rad Lab, care a asamblat o mare parte din teoria şi componentele necesare pentru a face ca radarul de înaltă frecvență să funcționeze – toate folosind tehnologia magnetronului. La acea vreme, singurele persoane cu experiență în tehnologia de înaltă frecvență erau oamenii de ştiință specializați în acceleratoare, aşa că aceştia au fost angajați pentru a face treaba, împingând magnetroanele la o putere de emisie din ce în ce mai mare.

Bill Hansen îi vizita în mod regulat pentru a-i învăța pe fizicienii de la MIT. La apogeu, Rad Lab a angajat 4 000 de persoane şi a proiectat jumătate dintre toate sistemele radar utilizate în timpul războiului.

Companiile au început să fabrice magnetroane pe scară largă, iar MIT a ales compania locală de electronice Raytheon pentru a-i ajuta în dezvoltare. În curând, marii jucători, precum General Electric şi Westinghouse, produceau şi ei magnetroane, alături de companii mai mici, precum Litton Industries, o companie de tuburi cu vid situată într-o zonă industrială retrasă din afara oraşului San Francisco, care îi ajutase pe fraţii Varian să construiască primele lor klystroane.

În 1945, una dintre aceste companii, Raytheon, producea 17 magnetroane pe zi pentru Departamentul Apărării, când unul dintre inginerii lor, Percy Spencer, a observat că un baton de ciocolată i se topise în buzunar în timp ce se afla în faţa unui magnetron. El a decis să încerce să folosească magnetronul pentru a găti alimente, mai întâi floricele de porumb – un succes răsunător –, apoi alte alimente, despre care a constatat că se încălzesc rapid atunci când se află într-o cutie metalică. Raytheon a înregistrat un brevet de invenţie pentru primul cuptor cu microunde, iar prima versiune comercială, „Radarange", măsura 2,4 metri înălţime şi costa 5 000 de dolari. Cu timpul, cuptoare cu microunde mai mici şi mai ieftine, alimentate de magnetroane, au devenit aparatele de uz casnic pe care le cunoaştem cu toţii astăzi. A fost o invenţie conexă cu radarul destul de neaşteptată, dar nu a fost singura.

Un articol din Saturday Evening Post, [7] din 8 februarie 1942, menţiona cu litere de-o şchioapă că „Fasciculul klystronic este mai mult decât au visat inventatorii". Articolul vorbea despre inginerii de telefonie care foloseau undele de la klystroane pentru a transmite 600 000 de

conversații simultan în întreaga țară, iar inginerii de televiziune făceau acelaşi lucru cu imaginile. Aplicațiile militare nu erau doar pentru a detecta avioane sau nave inamice: „Proiectată în jos de pe un avion de pasageri, raza de klystron îi spune pilotului la ce înălțime de la sol zboară. Proiectat în față, îl avertizează cu privire la munții ascunşi la timp pentru a-şi schimba cursul de zbor".

Klystronul a fost licențiat de compania Sperry Gyroscope pentru aplicații comerciale şi militare, inclusiv radar, iar Russell şi Sigurd Varian s-au mutat temporar în Long Island pentru a lucra la aceste proiecte secrete. În 1948, frații Varian şi-au dat seama de potențialul comercial al transmisiunilor TV şi al telecomunicațiilor, aşa că au părăsit Sperry Gyroscope şi s-au mutat înapoi în California pentru a înființa o companie, Varian Associates, [8] care urma să fabrice klystroane pentru aceste piețe în plină dezvoltare.

Armata britanică era un utilizator important de magnetroane pentru radar şi, în 1953, a decis să întocmească un raport care să clasifice calitatea diferiților producători de magnetroane din Europa şi SUA. Spre surprinderea GE, Raytheon şi Westinghouse, Litton Industries a fost cea care a ieşit pe primul loc.

Cum, se întrebau marile companii, cum a reuşit această firmă mică să le depăşească? Litton a reuşit să înceapă să producă magnetroane pentru sistemele radar deoarece deținea cunoştințele tehnice dobândite în urma fabricării tuburilor cu vid, dar şi celelalte companii au făcut acelaşi lucru. Ce le-a oferit un avantaj?

S-a dovedit că mai exista o legătură care le-a oferit un avantaj față de marile companii: legătura lor cu Bill Hansen, cu klystronul şi cu dorința acestuia de a construi acceleratoare de particule.

Grupul de la Stanford nu ar fi putut construi primele klystroane fără colaborarea cu Litton Industries. Litton

Industries a furnizat piese grupului Stanford şi a discutat despre procesele lor de fabricare. În urma acestei experienţe, compania cunoştea, de exemplu, importanţa vidului înalt în crearea unor dispozitive stabile şi de mare putere. Ei ştiau că trebuie să creeze procese de control al calităţii, pentru a se asigura că dispozitivele lor pot menţine un vid înalt şi că toate componentele rămân curate în timpul fabricării. Acest secret comercial a fost cel care a dus la succesul lor atunci când au început să construiască magnetroane.

Cu Litton şi Varian în frunte, alte companii de înaltă tehnologie au început să se dezvolte în parcul industrial Stanford. Varian şi noii lor concurenţi locali au atras atenţia oamenilor care căutau să lucreze în domenii tehnice ce necesitau un nivel înalt de calificare. La un deceniu de la înfiinţare, Varian Associates ocupa mai multe clădiri mari şi angajase peste 1 300 de persoane, cu vânzări anuale de 20 000 000 de dolari. Mii de oameni au venit în zonă ca să lucreze pentru companiile de microunde şi de tuburi cu vid aflate în creştere ori şi-au încercat norocul deschizând propriile firme de vânzare de materiale specializate, de prelucrare de înaltă precizie sau de alte servicii. Ceea ce a început ca o zonă retrasă este acum cel mai cunoscut centru tehnologic din lume: Silicon Valley.

Creşterea Silicon Valley în istoria tehnologiei este o poveste complexă, dar aceste companii au creat infrastructura industrială din zonă care a făcut-o posibilă. Această concentrare de competenţe în înalta tehnologie a fost cea care a pregătit terenul fertil din care s-a dezvoltat industria semiconductorilor la sfârşitul anilor 1950 şi în anii 1960. [1] Chiar pe strada unde se află şi Universitatea Stanford, avea să facă posibilă şi una dintre cele mai mari descoperiri ale secolului din domeniul fizicii.

Aşa cum s-a întâmplat în cazul multor altor fizicieni, activitatea lui Hansen fusese deraiată de război, iar visul

său de a construi un accelerator de particule pentru cercetarea în domeniul fizicii fusese lăsat deoparte. După război, proiectele magnetroanelor şi klystroanelor de mare putere au fost declasificate şi, dintr-odată, cercetătorii din întreaga lume care se ocupau de acceleratoare au avut la dispoziție tehnologia, industrializată şi beneficiind de costuri reduse, pentru a putea împinge acceleratoarele de particule la nivelul următor. Hansen a revenit la inspirația sa inițială: ideea de a construi un accelerator de electroni, realizând că magnetroanele şi klystroanele – surse de energie de radiofrecvență (RF) – puteau alimenta cu energie un nou tip de accelerator. Aceasta a fost realizarea deplină a ideii lui Widerøe din anii 1920: acceleratorul liniar.

În loc să aplice tensiuni înalte, ca pe vremea lui Cockcroft şi Walton, Hansen plănuia să treacă particulele prin cavități de radiofrecvență pentru ca acestea să capete energie. El a proiectat sistemul sub forma unei serii de cavități de cupru prelucrate cu precizie, cu o gaură prin care să treacă fasciculul. Acestea erau cavitățile de accelerare. Urmau să fie alimentate de un klystron – ales, parțial, şi datorită faptului că a fost propria sa coinvenție – pentru a genera unde electromagnetice. În interiorul cavităților de accelerare, aceste unde oscilau astfel încât câmpul electric dădea un impuls înainte pentru a face particulele să meargă mai repede. El ştia că, dacă ar putea reproiecta klystronul pentru a emite o putere RF suficient de mare, accelerația şi energia pe care o particulă le-ar obține la trecerea prin cavitățile de accelerare ar fi substanțiale. Acceleratoarele liniare de electroni aveau acum potențialul de a fi compacte şi eficiente, datorită noilor surse de energie RF.

Hansen a reunit o echipă la Stanford, printre care se numărau Ed Ginzton şi Marvin Chodorow, iar în 1947 au construit împreună primul accelerator de 6

MeV. Raportul său către organismul de finanțare era alcătuit din doar trei cuvinte: „Am accelerat electroni”. Acceleratorul liniar, sau LINAC, era mult mai mic şi mai uşor decât acceleratoarele existente. Nu cu mult timp înainte, o echipă condusă de Luis Alvarez de la Berkeley construise un accelerator de protoni de frecvență mai mică şi făcuse cu mândrie o fotografie a echipei lor, în care aproximativ treizeci de persoane erau aliniate şi stăteau una lângă alta deasupra maşinăriei lor (comparativ enormă). Când Hansen a aflat despre această fotografie, a luat trei dintre studenții săi absolvenți şi a stat împreună cu ei, înghesuiți unul cu pieptul în spatele celuilalt, ținând în sus cu o mână noul lor accelerator de electroni de înaltă frecvență. Când a fost finalizat, acesta avea mai puțin de doi metri lungime: mic, uşor, eficient, calea viitorului. Cercetările lui Hansen şi ale celorlalți au implicat un flux de inovație în ambele sensuri: fizicienii au inventat noi dispozitive – magnetronul şi klystronul – care au găsit aplicații reale la scară largă, în lumea reală, în domeniul radar.

Industrializarea acestor dispozitive i-a ajutat apoi pe fizicieni să îşi împlinească propriile ambiții experimentale.

Hansen a visat la o maşinărie mult mai mare: un accelerator de electroni de un miliard de volți care ar putea fi folosit pentru a explora forțele din nucleu. Toate acestea se întâmplau odată cu planificarea Cosmotronului şi a Bevatronului, iar dorința de a construi acceleratoare mari atingea cote maxime. Hansen a înrolat aproximativ treizeci de studenți postuniversitari şi treizeci şi cinci de tehnicieni pentru a lucra la această maşinărie uriaşă. Au construit o serie de prototipuri, începând cu Mark I (6 MeV), apoi Mark II, ajungând la 33 MeV în 1949. Dar, din păcate, Hansen nu avea să vadă niciodată proiectul finalizat, deoarece era din ce în ce mai bolnav, din cauza unei afecțiuni pulmonare

cronice. A decedat în 1949, chiar înainte ca Mark II să înceapă să funcționeze. A fost un șoc pentru toată lumea, în special pentru echipa sa. După cum spune Ginzton, „nu era evident cum ar fi putut fi finalizată mașinăria de un miliard de volți fără el”. [11]

Toate aceste inovații au avut loc înainte ca dezvoltările teoretice din anii 1950 să le ofere fizicienilor o înțelegere mai profundă a interacțiunilor dintre particule și forțele fundamentale. În capitolul 8, am văzut cum s-au format mari laboratoare pentru a construi sincrotroane de protoni enorme cu scopul de a crea și studia pioni și particule stranii. În toată această perioadă, noua tehnologie LINAC a fost dezvoltată pentru electroni, care la început părea să aibă prea puțin de-a face cu înțelegerea forței tari și a noilor particule descoperite în altă parte. În timp, toate acestea aveau să se schimbe.

Odată ce Murray Gell-Mann a pus în ordine lista lungă de particule cu ajutorul Căii cu opt brațe, a fost clar că particulele stranii semănau mult mai mult cu protonii și neutronii decât cu electronii sau fotonii. Pentru a înțelege cu adevărat particulele stranii era imperios necesar să înțelegem forța nucleară tare. O modalitate de a face acest lucru a fost utilizarea sincrotroanelor de protoni de mari dimensiuni, dar problema cu această abordare este că protonii înșiși interacționează prin intermediul forței tari, ceea ce face aproape imposibilă izolarea interacțiunilor forței tari ale particulelor stranii de interacțiunile forței tari ale protonilor.

Acesta a fost punctul cheie al discuției dintre cei circa douăzeci de fizicieni și ingineri de la Stanford care au fost convocați la casa fizicianului germano-american W.K. „Pief” Panofsky, pe dealurile din Los Altos, la 10 aprilie 1956.

La sosire, li s-a spus că erau cu toții voluntari într-un nou proiect fără nume, care nu avea finanțare. Perspectiva unui

experiment neaprobat le-a stârnit curiozitatea, aşa că au rămas cu toţii. Ideea de a explora proprietăţile forţei tari din protoni şi neutroni folosind electroni a apărut tocmai pentru că electronii interacţionează prin intermediul forţei electromagnetice, dar nu prin intermediul forţei tari: puteau folosi electronii ca o sondă pentru a înţelege mai bine forţa tare.

A ajutat faptul că electronii erau deja bine înţeleşi. În anii 1950, Richard Feynman, printre alţii, a creat cadrul teoretic al electrodinamicii cuantice sau QED, o modalitate de a calcula interacţiunile dintre particule pe baza unui set de reguli care făceau calculele mai uşor de realizat. Metoda a funcţionat pentru fotoni, electroni şi miuoni, pentru antiparticulele lor corespunzătoare şi chiar pentru neutrino. Cu toate acestea, nu s-a aplicat particulelor stranii sau protonilor şi neutronilor. Fizicienii s-au gândit că, dacă ar construi un accelerator de electroni şi ar bombarda materiale bogate în protoni şi neutroni, ar putea separa datele provenite din interacţiunile pe care le puteau calcula (folosind QED) de cele pe care nu le puteau calcula. În acest fel, poate că ar fi putut izola interacţiunile tari de care erau interesaţi. Au calculat energia de care ar fi avut nevoie, iar numărul a ieşit de douăzeci de ori mai mare decât visul lui Hansen de 1 GeV.[12] Exista o singură tehnologie care putea produce fasciculul dorit şi deja se lucra la ea: LINAC.

Într-un LINAC, fasciculul nu se curbează, astfel încât electronii nu pierd energie prin radiaţie sincrotronică (vezi capitolul 7). Pentru a crea date suficiente era nevoie de cât mai mulţi electroni, iar LINAC a făcut posibilă o intensitate atât de mare a fasciculului, deoarece nu era nevoie să se aştepte ca un lot de particule să fie accelerat înainte ca următorul să îşi înceapă călătoria. Aparatul putea utiliza un flux continuu de particule accelerate în linie dreaptă. Ar avea nevoie de surse puternice de radiofrecvenţă – de tip

klystron –, dar, cu un accelerator suficient de lung, ar putea funcționa. Din fericire, tehnologia a continuat să se maturizeze de la prima versiune de 6 MeV a lui Hansen. Echipa obținuse 400 MeV în 1953, iar în momentul în care obiectivul de 20 GeV a fost propus la reuniunea de la Los Altos, acceleratorul Mark III se apropia de obiectivul inițial de 1 GeV.

Acest nou proiect ambițios avea nevoie, desigur, de un nume şi, având în vedere dimensiunea monstruoasă a acceleratorului – acesta ar fi trebuit să aibă o lungime de aproximativ 3,2 kilometri –, au adoptat numele „Proiectul M".

Practic, „M" nu a fost niciodată definit, dar fizicienii îşi amintesc, în general, că acesta venea de la „monstru", ceea ce se potrivea cu cel mai mare proiect încercat vreodată la Stanford. În cadrul unei serii de întâlniri săptămânale care au avut loc în anul următor, aceştia au analizat ideile pentru acceleratorul liniar de 20 GeV care urma să fie amplasat în campusul Stanford din Menlo Park. Le-au rezumat într-un document de 100 de pagini şi au depus o cerere de 114 milioane de dolari la trei agenții federale diferite.

Ed Ginzton, coleg de mult timp cu Hansen, care a coînființat Varian şi a preluat conducerea acestei companii la moartea lui Hansen, a condus proiectarea. În decurs de cinci ani, echipa a depăşit o serie de obstacole politice chinuitoare, până când, în 1961, au primit, în sfârşit, banii. Laboratorul Național de Accelerare de la Stanford, cunoscut sub numele de SLAC (Stanford Linear Accelerator Centre), a putut fi, în sfârşit, pus în funcțiune. Universitatea Stanford urma să păstreze conducerea proiectului, dar acesta urma să fie deschis oamenilor de ştiință de oriunde. Universitatea a donat terenul, iar Departamentul de Energie se ocupa de nota de plată pentru accelerator. Acum, totul era în curs de

realizare: un produs al oamenilor potriviți, al tehnologiei potrivite şi al locului potrivit, toate acestea coalizându-se în jurul unui obiectiv comun.

De la momentul în care şi-au publicat proiectul, în 1957, şi până la momentul în care fasciculul a fost pornit în 1966, au avut loc alte dezvoltări teoretice care au contribuit la crearea unei forțe motrice puternice în spatele programului experimental SLAC. În 1964, Calea cu opt brațe a fost modernizată în modelul – quarc mai sofisticat propus independent de Gell-Mann şi Zweig. Protonii, neutronii, pionii, kaonii şi celelalte particule grele nu erau, până la urmă, particule fundamentale, ci erau formate din trei tipuri de quarc: up, down şi strange, fiecare dintre acestea având un spin şi o sarcină electrică specifice. [13]

Această teorie avea o consecință extrem de îngrijorătoare: se presupunea despre quarci că aveau o sarcină electrică neîntreagă sau fracționară.

În natură nu se observase niciodată altceva decât unități întregi de sarcină electrică. Cum puteau aceste noi particule să aibă +2/3 sau -1/3 sarcină electrică?

Nici măcar Gell-Mann nu era sigur dacă quarcii erau entități reale sau doar un artificiu matematic elegant care s-a întâmplat să funcționeze. Dacă aceşti ciudați quarci neîntregi erau elementele constitutive ale atomilor şi dacă, la rândul lor, existau cu adevărat quarci în interiorul protonilor şi neutronilor din nucleu, ar trebui să fie posibil să îi creăm şi să le măsurăm proprietățile. Căutarea quarcilor a devenit următoarea mare provocare experimentală.

Experimentatorii care lucrau la CERN şi-au dat seama rapid că particulele cu o sarcină de 1/3 şi 2/3 ar trebui să lase urme diferite într-o cameră cu bule, urme care ar fi putut fi chiar trecute cu vederea în experimentele anterioare. Două grupuri au analizat 100 000 de fotografii

din camere cu bule de aer din experimentele anterioare, dar nu au găsit nicio urmă de particule cu sarcină fracționată. Apoi au încercat să găsească quarci folosind sincrotronul de protoni şi camera cu bule, dar nu au găsit nimic. Fie quarcii aveau o masă mai mare decât cea pe care o puteau ei crea, fie nu existau. În caz contrar, se întâmpla altceva.

Laboratoarele cu acceleratoare mari de protoni nu păreau să poată elibera quarcii direct prin dezintegrarea protonului sau neutronului; în schimb, trebuiau să se gândească la o altă modalitate de a determina dacă acestea existau. Dar cum să facă acest lucru? Întâmplarea a făcut ca noua instalație de la SLAC să ofere exact condițiile potrivite pentru a face acest lucru să funcționeze.

Acceleratorul de 20 GeV a fost pus în funcțiune în 1966, un proces care a implicat câteva mii de persoane de la Stanford şi din alte părți, iar căutarea quarcilor a fost prioritatea numărul unu. S-a format o colaborare între MIT şi SLAC, din care făceau parte, printre alții, Henry Kendall, Richard Taylor şi Jerome Friedman. Partea SLAC a fost condusă de Kendall şi Taylor. Kendall era un fizician căruia îi plăcea să petreacă timp în aer liber, originar din Boston, iar Taylor – cunoscut pentru istețimea şi umorul său – era originar din Alberta, Canada. Friedman, contingentul MIT, era originar din Chicago, fiul talentat din punct de vedere artistic al unor imigranți evrei ruşi. Friedman făcea naveta în California pentru a se întâlni cu Kendall şi Taylor.

Ideea lor pentru experiment amintea de unul pe care l-am văzut deja, când Geiger şi Marsden au făcut să ricoşeze particule alfa din folia de aur pentru a descoperi că atomul are un nucleu. Pentru a afla dacă protonii şi neutronii au o substructură, vânătorii de quarci de la sfârşitul anilor 1960 au decis să folosească aproape exact aceeaşi metodă. Electronii de 20 GeV aveau suficientă energie pentru a pătrunde adânc în interiorul protonilor şi neutronilor. Dacă

existau quarci în interior, electronii se împrăştiau în urma impactului, iar unghiurile şi energiile lor puteau fi folosite pentru a reconstrui cu ce interacţionaseră. [14]

Dacă astăzi conduci pe autostrada interstatală 280, la jumătatea distanței dintre San Francisco şi San Jose, treci chiar peste acceleratorul de 3,2 kilometri lungime. Când a fost construit, tunelul care îl găzduieşte era cea mai lungă clădire din Statele Unite. [15] În interior se află sala klystron, plină cu dispozitivele de radiofrecvență de mare putere inventate de Hansen şi de frații Varian. Puterea pe care acestea o generează este transferată câțiva metri sub pământ către cavitățile de cupru prelucrate cu precizie, care alcătuiesc acceleratorul liniar de electroni. [1] Înăuntru, electronii merg pe unde până când ajung la 20 GeV, deplasându-se cu 99,999999999% din viteza luminii.

Când totul a fost gata cu vânătorii de quarci, la sfârşitul anilor 1960, la capătul acceleratorului, fasciculele de electroni au fost curbate şi direcționate pe trei linii de fascicule şi în două săli experimentale unde urmau să lovească – sau, mai exact, să fie dispersați de – o țintă făcută din hidrogen lichid bogat în protoni.

Electronii dispersați treceau apoi printr-un dispozitiv numit spectrometru magnetic, care măsura energia electronilor prin curbarea lor într-un câmp magnetic. Spectrometrul a fost cel mai mare instrument ştiințific al vremii, cu o lungime de 50 de metri şi o greutate de 3 000 de tone. Era şi mobil, montat pe şine, astfel încât putea pivota în jurul țintei şi putea face măsurători în unghiuri diferite.

În 1967, Kendall, Taylor şi Friedman au început să facă experimente folosind spectrometrul mare împreună cu două spectrometre mai mici. Ce se aşteptau să vadă? În ciuda ambițiilor lor de a găsi quarci, majoritatea fizicienilor de la acea vreme credeau că aceştia nu erau obiecte reale şi că

protonul şi neutronul aveau un fel de structură internă moale. Se aşteptau ca mai puțini electroni să fie dispersați odată cu creşterea unghiului spectrometrului. Orice abatere de la acest lucru ar putea indica faptul că existau quarci – sau altceva – în interior.

Experimentul colecta date pentru a crea o distribuție de probabilitate, iar echipa a analizat rezultatele pentru a încerca să le interpreteze.

A existat o diferență de aproximativ o mie de ori între aşteptările lor şi rezultatul experimental. [17] La început, nu era foarte clar că aceasta era o dovadă a existenței quarcilor, dar părea să fie o dovadă a unui anumit tip de structură în interiorul protonului. Teoreticieni, printre care Richard Feynman şi James Bjorken, au inventat numele de partoni pentru a descrie aceste entități. A fost un moment care a amintit de experiența anterioară cu folia de aur, numai că, de data aceasta, rezultatul a pătruns şi mai adânc în inima materiei: protonii nu erau particule fundamentale, iar dovezile păreau să arate că partonii din interior – se presupunea că sunt un tip de particule – erau punctiformi. Ce înseamnă ca o particulă să fie „punctiformă”? La fel ca în cazul electronului, înseamnă că particula este atât de mică, încât dimensiunea sa nu poate fi măsurată. După cum şi-a amintit mai târziu Jerome Friedman, „acesta era un punct de vedere foarte ciudat. Era atât de diferit de ceea ce se credea la acea vreme, încât am fost reticenți să discutăm public despre el”. [18]

În următorii câțiva ani, Friedman, Kendall şi Taylor au continuat să colecteze date la diferite unghiuri ale spectrometrului şi au efectuat o a doua rundă de experimente folosind o țintă de deuteriu lichid pentru a colecta date comparative pentru neutron. [1] Cu suficiente dovezi, puteau începe să aibă încredere în rezultatele lor: partonii erau, într-adevăr, quarci, constituenți punctiformi

care alcătuiau structura protonilor şi neutronilor. Acum putem spune că protonul este alcătuit din trei quarci, doi up şi unul down, iar neutronul dintr-un up şi doi down. Ultima piesă a puzzle-ului a fost confirmarea ideii conform căreia quarcii au sarcini electrice fracționate. Ei au reuşit să facă acest lucru comparând împrăştierea electronilor cu date similare de la CERN folosind neutrino (neutri din punct de vedere electric), care au oferit fizicienilor informații despre sarcinile electrice implicate în interacțiune. Quarcii aveau, într-adevăr, sarcini fracționare.

O analiză mai aprofundată a datelor a dezvăluit informații despre protoni şi neutroni care erau chiar mai subtile decât faptul că aveau quarci în interior.

Fiecare proton sau neutron are părți aproximativ egale de quarci şi gluoni neutri – particule fără masă care sunt acum considerate ca fiind purtătoare ale forței tari care „lipesc" quarcii între ei, aşa cum fotonul poartă forța electromagnetică. Cei trei quarci principali din proton şi neutron sunt numiți quarci de valență. În jurul acestora se află o „mare" de perechi quarc-antiquarc, care a apărut şi ea în datele de dispersie la energii mai mici. Protonul şi neutronul pot fi înțelese pe deplin, în ceea ce priveşte masa şi interacțiunile, doar prin includerea mării de quarci – perechi quarc-antiquarc up, down şi strange –, precum şi a quarcilor de valență.

În anii 1970, fizicienii au început să înțeleagă proprietățile neobişnuite ale forței tari care leagă quarcii între ei. Aceasta este relativ slabă pe distanțe mici, dar extrem de puternică pe distanțe mari, semănând oarecum cu o bandă elastică ce ține quarcii împreună. Atunci când quarcii sunt aproape unul de celălalt, ei se pot mişca cu o libertate relativă, dar dacă încerci să îi îndepărtezi, forța tare luptă împotriva ta, o proprietate numită confinare. Aceasta prinde quarcii în interiorul protonului şi neutronului într-o asemenea

măsură, încât, dacă încerci să îi desparți, energia pe care o introduci creează, pur şi simplu, o nouă pereche quarc-antiquarc. Rezultatul bizar al acestei situații este că quarcii nu pot fi observați singuri în natură. Acesta este motivul pentru care Kendall, Taylor şi Friedman au avut succes acolo unde alții nu au reuşit: au găsit o modalitate de a observa quarcii în starea lor confinată în interiorul protonilor şi neutronilor.

Forța tare este responsabilă şi pentru menținerea neutronilor şi a protonilor împreună în interiorul nucleului atomic, într-un mod subtil. La această distanță mare, este adesea numită forța reziduală tare. Particularitățile legate de felul exact în care interacționează quarcii au fost detaliate, în cele din urmă, într-o teorie numită cromodinamică cuantică, sau QCD[4], pe care o putem folosi pentru a înțelege cum se menține unit nucleul atomic.

Potrivit QCD, quarcii poartă un tip de sarcină (analogă sarcinii electrice) numită sarcină de culoare, care are trei tipuri, etichetate roşu, verde şi albastru, deşi nu seamănă deloc cu ideea obişnuită de culoare. Antiquarcii au „culorile" antiroşu, antiverde şi antialbastru, iar atunci când quarcii sunt combinați în particule, totalul trebuie să fie „incolor". Albastrul, roşul şi verdele în combinație sunt incolore, astfel încât, dacă quarcii din interiorul protonului sunt albastru, roşu şi verde, această particulă este, prin urmare, „permisă". Pionul este format dintr-un quarc şi un antiquarc de tip up şi down, în combinație albastru şi antialbastru, roşu şi antiroşu sau verde şi antiverde.

Protonii şi neutronii din interiorul nucleului sunt incolori per total, dar quarcii din interiorul lor lasă un mic efect rezidual al forței tari care, oarecum miraculos, are ca efect

---

[4] Inițialele provin de la denumirea în engleză Quantum ChromoDynamics. (N.r.)

menținerea lor împreună. Desigur, acest lucru pare un detaliu minor, dar nu este banal: fără forța reziduală tare, nucleele atomilor nu ar fi stabile, iar materia, așa cum o cunoaștem noi, nu ar exista.

A fost nevoie de ceva timp pentru a stabili toate acestea, dar ceea ce a fost foarte clar după experimentele lui Friedman, Kendall și Taylor a fost că quarcii erau reali. [2] Zilele în care protonii și neutronii erau elementele fundamentale ale atomilor s-au încheiat.

Descoperirea quarcului a fost permisă de acceleratorul liniar, care, la rândul său, avea nevoie de klystroane și magnetroane, care, la rândul lor, fuseseră create pentru a furniza tehnologie radar de mare putere. Hansen și frații Varian nu ar fi putut prevedea niciodată rezultatul final al cercetărilor lor. Aceste interconexiuni între știința fundamentală și cea aplicată, industrie și descoperiri sunt, de obicei, povești separate, spuse de oamenii de știință și de antreprenori. Auzim povestea descoperirii de la fizicieni și povestea inovației și a succesului comercial de la antreprenori, dar cumva uităm de simbioza dintre ele. Această coalescență poate avea rezultate imprevizibile, iar povestea nu se termină cu quarcii.

Când am vorbit ultima dată despre frații Varian, aceștia își înființaseră compania în ceea ce avea să devină Silicon Valley. În scurt timp, au început să vândă aparate electronice LINAC pentru aplicații din afara fizicii, iar aceste aparate au adus schimbări transformaționale în medicină, securitate și industrie. Astăzi, numele Varian este aproape sinonim cu tehnologia acceleratoarelor liniare, iar produsul pe care este foarte probabil să îl întâlnești – de care unul din opt dintre noi va avea nevoie în timpul vieții – este un LINAC pentru radioterapie.

În 1954, un doctor în medicină, Henry Kaplan, a auzit de dezvoltările acceleratorului de la Stanford și s-a mutat acolo

cu scopul de a crea un dispozitiv pentru tratarea cancerului. [21] Kaplan a luat prânzul cu Ed Ginzton, iar colaborarea lor entuziastă a dus la dezvoltarea primului LINAC clinic din Statele Unite.

Acest aparat cu electroni de 6 MeV a fost folosit pentru prima dată în 1956 la Stanford pentru a trata cu succes un băiat de doi ani cu o tumoare la ochi. Acesta a scăpat de tumoare, cu vederea intactă. Kaplan a făcut presiuni pentru a instrui radiologii în noul tip de terapie, iar cererea de acceleratoare în spitale a început să crească.

Kaplan şi Ginzton au convins Varian Associates să fabrice un accelerator clinic.

Au micşorat şi mai mult aparatul de 6 MeV, până când acesta a fost suficient de compact pentru a putea fi rotit la 360 de grade în jurul pacientului, permițând medicilor să trateze pacienții din orice unghi. Din acest moment, radioterapia cu raze X a devenit metoda de tratament preferată, cu LINAC-ul ca metodă de administrare – în momentul în care protonii şi particulele mai grele au ajuns să fie utile clinic, această formă de radioterapie era deja standardul de aur (vezi capitolul 8). [22]

În prezent, aproximativ jumătate dintre cazurile de cancer sunt tratate cu radioterapie, atunci când aceasta este disponibilă (restul sunt tratate prin chirurgie şi chimioterapie). Utilizarea electronilor şi a razelor X este mult mai frecventă decât cea a protonilor sau a ionilor, în parte pentru că tehnologia este de dimensiuni mai mici şi mai ieftină. Un accelerator liniar clinic modern este găzduit în subsolul unui spital, într-o cameră ecranată împotriva radiațiilor, cu pereți de beton de un metru grosime. Pentru un pacient, sistemul arată aproape la fel ca centrul de terapie cu protoni pe care l-am descris în capitolul 9, cu excepția faptului că, de data aceasta, toate echipamentele încap în interiorul camerei de tratament. În centrul încăperii

se află patul pe care se întinde pacientul, iar deasupra se află un accelerator de particule lung de un metru, care amplifică electronii până la aproximativ 25 MeV şi apoi îi direcționează spre o țintă metalică. Pe măsură ce electronii încetinesc în metal, aceştia emit raze X, la fel ca în tuburile catodice pe care le-am întâlnit în capitolul 1. Tratamentele de radioterapie se bazează pe preluarea acestor raze X şi modelarea lor cu ajutorul unui sistem sofisticat de colimare, care absoarbe razele X pentru a crea un tipar de umbre în conformitate cu un plan de tratament. Odată modelate în mod corespunzător, razele X sunt direcționate către pacient.

Toate sursele de alimentare, sistemele de vid şi circuitele electronice sunt protejate de un panou aflat în spatele aparatului. Deschiderea acestuia dezvăluie klystronul şi ghidurile de undă care alimentează cu energie de radiofrecvență structura cavității de accelerare din inima dispozitivului. Aşa-numitul braț gantry care conține acceleratorul propriu-zis are şi ecranare cu plumb şi o serie de magneți care direcționează fasciculul în jos, spre ținta metalică, unde sunt create razele X. Întregul accelerator se află într-o carcasă de plastic, înconjurată de panouri de imagistică şi de control. La apăsarea unui buton, întregul sistem de accelerare se poate roti cu 360 de grade în jurul patului pacientului.

Varian este unul dintre cei doi actori principali care domină astăzi piața acceleratoarelor medicale. Celălalt este Elekta, companie înființată de Lars Leksell în 1972 în Suedia, pe baza echipamentului de radiochirurgie de precizie „Gamma knife”. În timp ce aparatele Varian folosesc în principal klystroane de invenție proprie, tehnologia Elekta foloseşte în principal magnetroane. Ambele companii au numeroase colaborări active cu grupuri universitare şi inovează încontinuu pentru a-şi îmbunătăți aparatele în vederea obținerii celor mai bune rezultate clinice posibile.

Există peste 12 000 de astfel de LINAC-uri de radioterapie în uz în întreaga lume. Aceste aparate ne reamintesc că tehnologia experimentală este folosită nu doar pentru fizica particulelor elementare, ci şi pentru a salva viețile a milioane de oameni. De fapt, 12 000 de LINAC-uri nu sunt nici pe departe suficiente.

Având în vedere ratele actuale de incidență a cancerului, este nevoie de un aparat la fiecare 200 000 de persoane şi, în timp ce țările cu venituri ridicate îndeplinesc acest obiectiv, în prezent există un deficit de aproximativ 5 000 de aparate în națiunile clasificate de Banca Mondială drept țări cu venituri mici şi mijlocii (LMIC – Low and Middle-Income Countries). În Africa Subsahariană, există treizeci şi cinci de țări care nu dispun în prezent de niciun fel de servicii de radioterapie.

Incidența cancerului este în creştere în întreaga lume ca urmare a faptului că oamenii trăiesc mai mult, iar creşterea este cea mai rapidă în țările cu venituri mici şi mijlocii. Se estimează că, până în 2035, vor fi aproximativ 35 de milioane de persoane diagnosticate cu cancer în fiecare an, iar 65–70% dintre toate cazurile de cancer vor fi în țările cu venituri mici şi mijlocii. Eforturile uriaşe depuse la nivel mondial pentru eradicarea altor boli dau rezultate, crescând speranța de viață în întreaga lume, dar şansele de a fi diagnosticat cu cancer cresc odată cu înaintarea în vârstă. În multe țări cu venituri mici şi mijlocii, facilitățile medicale sunt suficient de avansate pentru a pune un diagnostic de cancer, iar accesul tot mai mare la educație înseamnă că oamenii cunosc suficient de bine semnele cancerului pentru a merge la medic.

Până în 2035, va fi nevoie de încă 12 600 de aparate, alături de zeci de mii de oncologi, radiologi, fizicieni medicali şi alți profesionişti în domeniul medicinii.

Agenția Internațională pentru Energie Atomică (IAEA – Internațional Atomic Energy Agency) depune eforturi extraordinare pentru a rezolva această problemă, dar nevoia tot mai mare de instalații depăşeşte ritmul în care se construiesc şi se pun în funcțiune noi instalații de radioterapie.

În 2016, a fost convocată o reuniune la CERN pentru a discuta despre aceste aparate, reunind experți internaționali din domeniul acceleratoarelor şi al sănătății globale cu medici din Nigeria, Botswana, Ghana, Tanzania, Zimbabwe şi alte națiuni din Africa Subsahariană. Experții în tehnologie au petrecut trei zile ascultând şi punând întrebări, căutând să înțeleagă ce nu merge bine şi ce trebuie schimbat. Eu am fost unul dintre aceşti experți şi, odată ce mi s-au deschis ochii la o asemenea provocare globală, nu i-am mai putut închide.

Chiar dacă un spital îşi poate permite un aparat, contractul anual de întreținere costă aproximativ cât ar costa plata salariilor a douăzeci şi cinci de ingineri cu normă întreagă. Piesele de schimb pot necesita mult timp până la sosire şi, chiar şi atunci, pot rămâne blocate în vamă luni de zile. Şi în fiecare zi în care acceleratorul este stricat, aproximativ cincizeci de pacienți nu vor primi tratament. Acestea sunt cele mai comune acceleratoare de particule din lume, dar ceea ce am aflat este că sunt menite pentru țările cu venituri ridicate, cu surse de alimentare stabile, o armată de ingineri cu înaltă calificare şi sisteme de sănătate puternice.

Participanții la acea întâlnire s-au unit pentru a lansa o nouă colaborare, STELLA – Smart Technologies to Extend Lives with Linear Accelerators (Tehnologii inteligente pentru extinderea vieții cu acceleratoare liniare). Există multe aspecte ale acestei provocări care trebuie abordate, inclusiv educația, dezvoltarea globală, sistemele de sănătate şi

tehnologia. Folosind modelele de colaborare care stau la baza Big Science, ne propunem să rezolvăm această provocare, iar prima noastră fază – proiectarea unui LINAC potrivit în aceste condiții – este în plină desfăşurare. [23]

În afara medicinei, există multe alte utilizări pentru LINAC-uri. Sunt mii de acceleratoare mici utilizate în sistemele de scanare de securitate în porturi şi la granițe, permițând vameşilor să vadă în interiorul camioanelor şi al containerelor de marfă pentru a descoperi mărfuri de contrabandă. Razele X de înaltă energie produse de LINAC pot trece prin obiecte mari, ceea ce nu pot face tuburile cu raze X standard.

Acceleratoarele de electroni sunt utilizate pentru sterilizarea produselor medicale, a unor corespondențe poştale cu risc şi chiar pentru a elimina potențialii agenți patogeni din anumite alimente, inclusiv din ierburi. Numărul de aplicații este în continuă creştere. În Coreea de Sud se găsesc acum acceleratoare liniare de mici dimensiuni care curăță gazele nocive de la centralele electrice şi care tratează apele reziduale de la fabrici fără a utiliza substanțe chimice dure.

Poate părea contraintuitiv, dar acceleratoarele de particule ar putea fi unul dintre cele mai ecologice instrumente de care dispunem – ele sunt folosite chiar şi pentru a produce panouri solare mai ieftine. [24] Piața pentru aceste tipuri de acceleratoare este în prezent de aproximativ cinci miliarde de dolari pe an şi în creştere.

Magnetroanele, klystroanele şi acceleratoarele liniare continuă să fie dezvoltate şi în prezent, atât în industrie, cât şi în laboratoarele universitare şi, de obicei, în colaborare. Aceste tehnologii sunt din ce în ce mai mici, mai ieftine, mai fiabile şi mai eficiente din punct de vedere energetic. În prezent, tehnologiile de accelerare pentru fizica particulelor elementare sunt, în mod obişnuit, dezvoltate în comun cu

aplicațiile lor în medicină şi în industrie, în parte pentru că procesul de industrializare poate contribui la reducerea costurilor proiectelor mari, aşa cum s-a întâmplat şi în cazul căutării quarcilor.

Astăzi, conferințele care se concentrează pe noile tipuri de radioterapie care ar putea reduce timpul de tratament al cancerului de la câteva minute la câteva secunde şi de la douăzeci şi cinci de şedințe de tratament la doar una sau două sunt pline de fizicieni specializați în acceleratoare. [25] Fizicienii care lucrează alături de colegii din domeniul medical pentru a inventa aceste tehnologii de ultimă generație sunt aceiaşi care proiectează experimentele din fizica particulelor elementare. Ei adoră să aibă posibilitatea de a crea un impact imediat în lumea reală, fără a fi nevoiți să facă o pauză în căutarea răspunsurilor la marile întrebări despre Univers.

Dar toate acestea ar urma să vină mult mai târziu. La sfârşitul anilor 1960, a apărut o nouă eră a descoperirilor. În timp ce oamenii făceau primii paşi pe Lună, ei au făcut, de asemenea, incursiuni revoluționare în cei mai mici constituenți ai materiei. După descoperirea quarcilor, fizicienii din întreaga lume au continuat să revoluționeze fizica particulelor elementare. Între 1974 şi 1977, experimentele de la SLAC, care au utilizat un inel de coliziune electron-pozitron numit SPEAR, au furnizat dovezi că există un lepton tău – o versiune mai grea a electronului şi a miuonului –, indicând că ar putea exista o a treia generație de materie. Dacă acest lucru ar fi adevărat, atunci ar putea exista şi mai mulți quarci. Misterele pe care le producea lumea subatomică păreau să nu aibă sfârşit.

Capitolul 11

Tevatronul: a treia generaţie de materie

Ne-am întâlnit pentru prima dată cu Robert Rathbun („Bob”) Wilson la Berkeley la mijlocul anilor 1940, când a propus ideea terapiei cu protoni. La sfârşitul anilor 1960, el nu mai era protejatul lui Ernest Lawrence, ci un lider de sine stătător. Wilson era un nou tip de fizician, un fel de om universal, care era în acelaşi timp vizionar, inginer, finanțator şi întreprinzător. Era, de asemenea, un poet, sculptor şi orator talentat şi, în timp, avea să învețe să împletească creativitatea şi ştiința pentru a lansa un laborator de top la nivel mondial. Dar, mai întâi, trebuia să obțină aprobarea finanțării pentru a-l construi.

În aprilie 1969, Wilson s-a prezentat în fața Congresului american, cerând 250 de milioane de dolari pentru a construi cel mai ambițios proiect de accelerator pe care Statele Unite îl încercaseră vreodată. Zilele de glorie în care fizica era finanțată din belşug se terminaseră, iar Wilson trebuia să concureze cu numeroase cereri de finanțare de la stat, de la misiunile spațiale ale NASA la costurile enorme ale navelor, avioanelor şi armelor pentru apărare. Înainte ca Wilson să poată începe, senatorul John Pastore a atras atenția că maşina propusă era experimentală. Nici măcar nu ştiau exact ce vor găsi cu ea. Cum putea să apere o propunere atât de costisitoare şi riscantă?

Maşina a fost proiectată, a explicat Wilson, pentru a găsi răspunsuri la întrebări vechi despre simplitatea naturii. Este posibil, întreba el, să găsim o descriere a dezordinii vieții şi a Universului, doar pe baza câtorva particule elementare?

Pornind de la această viziune, el a prezentat situația actuală. Ştiau despre forțele de gravitație, despre forța electromagnetică şi forța nucleară care leagă protonii şi neutronii între ei. Descoperirea quarcilor era în curs de desfăşurare la SLAC şi, după cum am văzut în capitolele anterioare, existau şi indicii privind o a patra forță, forța

nucleară slabă. În dezintegrarea beta, în timpul căreia un neutron se transformă într-un proton, se părea că quarcii experimentau atât forța nucleară tare, cât şi cea slabă. Acest nou aparat, susținea el, ar permite efectuarea de experimente într-o gamă de energie în care fizicienii ar putea fi capabili să confirme în sfârşit aceste forțe şi să pună cap la cap o înțelegere mai completă a felului în care funcționează Universul. Din punct de vedere intelectual, promisiunea acestui demers era enormă.

Senatorul Pastore a încuviințat din cap şi a spus că a înțeles că scopul maşinii era cercetarea fundamentală în domeniul fizicii de înaltă energie, un proces educațional şi academic. Wilson a adăugat: „Şi unul cultural, dar cu speranța fermă că vor urma dezvoltări tehnologice... Pentru că facem lucruri tehnice extrem de dificile şi pentru că lucrăm într-un tip ciudat de cercetare, ştim din experiența trecută că, în mod inevitabil, se dezvoltă noi tehnici, tehnici care au plătit cu vârf şi îndesat costul cercetării fundamentale care nu a fost îndreptată spre astfel de evoluții”.[1]

Senatorul a vrut să-l ajute pe Wilson făcând să pară că maşina era indispensabilă pentru națiune. L-a întrebat pe Wilson dacă maşina ar avea vreo legătură cu securitatea țării, dar Wilson a răspuns simplu „Nu”. După Proiectul Manhattan, zilele în care Wilson a contribuit la apărare prin intermediul fizicii s-au încheiat; acest proiect a fost unul motivat, pur şi simplu, de curiozitatea față de Univers.

Senatorul l-a presat: „Chiar nicio legătură?”

Wilson a făcut o pauză, apoi l-a privit pe senator şi a spus: „Are de-a face doar cu respectul cu care ne privim unii pe alții, cu demnitatea omului, cu dragostea noastră pentru cultură. Are de-a face cu întrebările: suntem buni pictori, buni sculptori, mari poeți? Adică toate lucrurile pe care le venerăm cu adevărat în această țară şi pentru care suntem

patrioți... Nu are nimic de-a face în mod direct cu apărarea țării noastre, cu excepția faptului că o fac să merite apărată”.[2]

Bugetul a fost aprobat. În luna octombrie a aceluiaşi an, Wilson a înfipt personal o lopată în pământ pe amplasamentul aflat la o oră de Chicago, marcând ceremonia oficială de inaugurare a complexului Național Accelerator Laboratory (NAL), cunoscut mai târziu sub numele de Fermilab.

Fermilab este cu adevărat diferit de orice alt laborator de fizică. Fidel intereselor lui Wilson, în loc de clădiri monotone din cărămidă şi prefabricate, locul este plin de sculpturi şi puncte de detaliu arhitectural. Intrând cu maşina printr-un mic sat de case cu pereți din panouri de lemn şi ajungând la locul în care se află Fermilab, vizitatorii sunt întâmpinați nu de echipamente de înaltă tehnologie, ci de o turmă de bizoni, un semn de recunoaştere a moştenirii sale din prerie.

Apropiindu-se de clădirea principală, vizitatorii trec printre bazine lungi şi reflectorizante. La capătul îndepărtat, se află sala Wilson Hall[3], asemănătoare unei catedrale, o structură de beton înaltă de 76 de metri, blândă la privit datorită curbelor arhitecturale. Puntea de vizionare de la ultimul etaj are vedere înspre kilometri întregi de tuneluri şi tehnologie, acceleratoare şi experimente care se întind ca nişte cercuri de iarbă pe acest vast amplasament.

Viziunea lui Wilson a fost de a crea un laborator care să fie interesant, funcțional şi frumos. El credea că estetica locului va fi importantă pentru succesul său. O artistă dedicată meseriei, Angela Gonzales, a fost angajată ca membru de bază al echipei pentru a proiecta totul, de la logoul laboratorului şi posterele pentru întâlniri până la mesele din cantină. Aceeaşi estetică a fost folosită şi pentru echipamentele ştiințifice. Wilson a considerat că instrumentele ştiințifice ar trebui să fie la fel de frumoase ca

ideile din fizica teoretică. În calitate de sculptor, el a insistat ca acceleratoarele, experimentele şi toate celelalte aspecte ale unui laborator mare să aibă linii grațioase, volume bine echilibrate şi un farmec estetic intrinsec.[4]

La început, Wilson a schițat instalația în mare, aproape ca şi cum ar fi conturat forme pe o pânză. Trebuia să fie ambițios din punct de vedere ştiințific pentru a atrage cei mai buni oameni pentru proiect, dar trebuia să fie şi cumpătat, pentru a se încadra în buget. A decis că obiectivul său inițial, cel care fusese finanțat, nu era suficient de ambițios. În loc de energia inițială a fasciculului de 200 GeV, a țintit către 500 GeV cu o instalație – „inelul principal" – cu o rază de un kilometru, o dimensiune aleasă, pur şi simplu, pentru că era uşor de reținut. Dacă asta nu era o provocare suficientă, a accelerat şi programul de construcție. În loc de cei şapte ani prevăzuți inițial, el dorea să construiască proiectul în doar cinci ani.

Cele mai bune minți din branşă au aflat despre ideea să excentrică şi au început să se alăture proiectului. Viziunea sa a adus fizicieni, ingineri şi oameni deprinşi să rezolve probleme cu o energie creativă şi un entuziasm enorme. Noul inel principal nu era nici măcar singurul accelerator care trebuia construit. Wilson ştia că era nevoie de un întreg lanț preaccelerator: protonii urmau să-şi înceapă parcursul într-un accelerator Cockcroft-Walton, apoi aveau să fie trimişi printr-un LINAC şi trecuți printr-un inel numit „booster". Abia după aceea fasciculul de protoni ar fi trecut în inelul principal.

Fiziciana expertă în acceleratoare Helen Edwards şi soțul ei, Don, s-au alăturat echipei în 1970, chiar în momentul în care lucrurile începeau să ia avânt.

Originară din Detroit, Michigan, Edwards a devenit interesată de ştiință şi matematică în timp ce frecventa o şcoală de fete din Washington DC şi, în ciuda faptului că se

lupta cu dislexia, stăpânea materiile cu ajutorul concentrării pure.

A obținut o diplomă de licență în fizică de la Universitatea Cornell, fiind singura femeie printre peste zece bărbați. Intenționa să urmeze direct un program de doctorat, dar, la acea vreme, femeilor li se cerea să termine mai întâi un masterat.

Cu toate acestea, a perseverat şi şi-a finalizat cercetările privind dezintegrarea particulelor, dobândind experiență practică în operarea acceleratorului de electroni de la Cornell pentru experimentele sale. Aici a întâlnit-o Wilson şi a fost clar pentru toată lumea că abilitatea ei de a se concentra asupra lucrurilor esențiale a făcut-o o interpretă formidabilă de probleme ştiințifice şi tehnice.

Wilson a însărcinat-o pe Edwards cu punerea în funcțiune a sincrotronului de amplificare.

Edwards şi echipa sa au pus rapid în funcțiune acceleratorul de amplificare, alimentând inelul principal cu protoni de 8 GeV la cerere. Echipele care gestionau Cockcroft-Walton şi LINAC şi-au îndeplinit obiectivul de a le pune în funcțiune. Având în vedere că lucrările de construcție se desfăşurau cu o viteză amețitoare, Edwards s-a alăturat echipei care lucra la inelul principal, parțial finalizat.

Ritmul de lucru era febril, iar condițiile de lucru, sumbre: scurgerile de apă făceau ca tunelul inelului principal să se umple uneori cu noroi, prin care trebuiau să treacă pentru a continua instalarea magneților. Wilson şi-a asumat riscuri, afirmând că „ceva care funcționează imediat este proiectat prea minuțios şi, în consecință, va dura prea mult timp pentru a fi construit şi va costa prea mult”. [5] Susținea că ar fi mai ieftin să repare piesele care se defectau.

Problemele trebuiau rezolvate rapid, iar echipa lui Edwards avea să povestească mai târziu despre cum putea

să producă calcule detaliate într-un timp foarte scurt pentru a rezolva probleme complexe pe măsură ce acestea apăreau. Echipa ei nu era mai puțin inventivă. După ce au sudat acceleratorul, au descoperit că în tubul fasciculului se aflau mici resturi de metal care riscau să devieze protonii, să provoace radiații sau să deterioreze aparatul. În disperare de cauză, un inginer a antrenat un dihor pe nume Felicia pentru a trage o sfoară prin tubul fasciculului, după care a ataşat un tampon de curățare la capătul celălalt şi a tras sfoara înapoi pentru a îndepărta resturile. A funcționat, dar aveau să se întâmple lucruri şi mai rele.

În 1971, lucrurile au luat amploare după ce echipa a început să alimenteze cei 1 014 magneți din tunel şi a constatat că nu mai puțin de 350 dintre ei au cedat.

Această „criză a magneților" i-a costat cel puțin şase luni şi 2 milioane de dolari pentru a o rezolva şi nici până în ziua de azi nu este foarte clar ce a mers prost – dar izolația epoxidică subțire şi problemele cu condensul par să fi avut cea mai mare parte din vină. În ciuda tuturor dificultăților, în martie 1972, când numai cu patru ani înainte locul fusese doar un câmp de porumb, un fascicul de protoni circula, în sfârşit, în jurul circumferinței de 6,28 kilometri a inelului principal şi, în scurt timp, au doborât recordul mondial pentru energia fasciculului de protoni.

În continuare, Edwards a supravegheat procesul dificil de scoatere a fasciculului de protoni de înaltă energie din aparat. Trebuia să păstreze cel puțin 98% din fascicul, altfel risca să creeze radiații şi să distrugă componentele. Soluția pe care a adoptat-o[7] a presupus reglarea fină a aparatului, astfel încât fasciculul să vireze foarte aproape de marginea țevii în trei locuri, unde echipa sa a instalat septuri electrostatice – benzi de metal ținute la o tensiune foarte ridicată – care ofereau suficientă forță pentru a scoate fasciculul oscilant din aparat.

În 1974, ea a reuşit să facă lucrurile să funcţioneze şi toate cele trei zone experimentale puteau primi fasciculul în acelaşi timp. În anii care au urmat, energia inelului principal a fost mărită de la 200 GeV la 400 GeV în 1975 şi, mai târziu, la 500 GeV. Fiecare dintre punctele de ieşire din inel a fost împărţit din nou în trei părţi pentru a furniza nouă fascicule în total de la un accelerator.

Acum că aparatul era gata de utilizare, atenţia se putea îndrepta către experimentele de pe lista de aşteptare.

Principalele zone experimentale se concentrau pe neutrino, mezoni şi, respectiv, protoni. Experimentele au fost în mare parte concepute şi implementate de cercetători universitari, nu de personalul laboratorului. Acest lucru s-a datorat parţial cumpătării lui Wilson. Pentru a reduce costurile, el a hotărât ca experimentatorii să fie responsabili de propriile zone şi să li se pună la dispoziţie, pur şi simplu, o „groapă" – literalmente o groapă săpată în pământ pentru ecranare împotriva radiaţiilor – cu pereţi de fier striat şi un acoperiş.

Evident, planul estetic al lui Wilson pentru acest loc nu se extindea şi la confortul utilizatorilor.

Cercetătorii universitari s-au simţit nedreptăţiţi pentru că trebuiau să lucreze în zonele experimentale de la Fermilab, spre deosebire de laboratoarele relativ luxoase de la SLAC sau CERN.[8]

În ciuda senzaţiei de frontieră a gropilor experimentale, Wilson ştia că, dacă va crea fasciculele cu cea mai mare energie din lume, fizicienii vor bate la uşă, şi aşa a şi fost. Până în 1976, laboratorul a primit propuneri de la peste 120 de centre de cercetare, inclusiv de la colaboratori internaţionali din Canada, Europa şi Asia. Mai mult de jumătate dintre cele 500 de experimente propuse au fost aprobate, iar în 1978, multe dintre acestea fuseseră finalizate. Unul dintre primii lideri experimentalişti a fost

carismaticul fizician de la Universitatea Columbia Leon Lederman.

*

Încă de la înființarea Fermilab, Lederman a fost un susținător al laboratorului. El se potrivea cu ideea lui Wilson despre un experimentator perfect – ambițios, dar dispus să se adapteze. Dacă Wilson era un cowboy, Lederman era un pungaş de oraş. Născut la New York din părinți imigranți evrei-ucraineni, alesese fizica la facultate, când un prieten l-a convins de splendorile acestui domeniu în timpul unei nopți lungi de băut bere. A dezvoltat un talent pentru a alege probleme de fizică importante, ceea ce l-a condus la codescoperirea neutrinoului miuon în 1962. Acest lucru l-a pus pe calea experimentelor sale de la Fermilab.

Lederman şi alții cunoşteau cele două generații existente de materie, care puteau fi grupate în leptoni, constând în electron şi vărul său mai greu, miuonul, împreună cu neutrinoul electronic şi neutrinoul miuonic, care formau două seturi corespunzătoare. La acestea se adaugă quarcii: dacă quarcii up şi down formau un set, părea rezonabil ca şi quarcul strange să aibă un partener, numit quarc charm, alcătuind o a doua generație de quarci. Acest lucru a fost propus de teoreticieni în 1970, motivat inițial de considerente estetice. I-a ajutat, de asemenea, să rezolve unele probleme tehnice din ecuațiile lor.

În momentul în care inelul principal de la Fermilab funcționa, Lederman deja ratase descoperirea quarcului charm. Acesta a fost găsit în 1974, aproape simultan la Brookhaven şi SLAC, sub forma particulei „J/Ψ”, pronunțată „J-Psi” după litera greacă Ψ „psi”. Dar natura nu terminase cu surprizele. Aşa cum am văzut la sfârşitul ultimului capitol, cercetătorii de la SLAC au descoperit în 1975 o versiune şi mai grea a electronului şi a miuonului,

numită tău. Lederman avea o nouă motivație: dacă exista o a treia generație de leptoni, de ce nu şi o a treia generație de quarci, mai grei?

Lederman a solicitat spațiu pentru a realiza un nou experiment – denumit după numărul propunerii sale Experimentul 288 (E288) –, în care spera să folosească detectoare electronice pentru a căuta perechi de miuoni, care reprezentau semnătura aşteptată de la o particulă grea cu durată de viață scurtă. Scopul său era de a găsi particule care să conțină quarci şi mai grei decât up, down, charm şi strange găsiți până atunci. Când propunerea sa a fost acceptată şi experimentul a fost pregătit, fasciculul de protoni de 500 GeV de la inelul principal a fost direcționat către groapa lor, iar echipa a colectat date despre fiecare pereche de miuoni găsită. Pentru a analiza rezultatele, ei au adunat energia fiecărei perechi de miuoni şi le-au reprezentat grafic ca puncte pe o histogramă. Un vârf, sau o umflătură, în histogramă ar fi fost o dovadă a unei noi particule.

În 1976, a apărut o umflătură la o masă de aproximativ 6 GeV. Deşi numărul de evenimente era mic, probabilitatea ca aceste evenimente să fie o anomalie statistică era de doar 2%. Ei au continuat şi au publicat o lucrare în care anunțau o particulă nouă, căreia i-au dat numele upsilon, pe care l-au interpretat ca însemnând „preaînaltul”[5].[1] Apoi s-a întâmplat ceva de neconceput. Pe măsură ce au colectat mai multe date, vârful care arăta particula upsilon a dispărut, înghițit de zgomotul de fond al evenimentelor aleatorii. Până la urmă, nu exista nicio particulă de 6 GeV.

---

[5] În original, „the lofty one”, trimitere la felul în care este numit Dumnezeu în Cartea Isaia (57,15) din Vechiul Testament. În 1993, Lederman avea să publice cartea The God Particle (Particula lui Dumnezeu).

A fost o lecție brutală de statistică şi unul dintre motivele pentru care, în prezent, standardul general acceptat pentru a anunța descoperirea unei noi particule este ceea ce fizicienii numesc dovada „5-sigma”. Acest lucru înseamnă că şansa de a obține rezultatul din întâmplare este mai mică de 1 la 3,5 milioane. [11] Aproape că nu există nici un alt domeniu în viață sau în ştiință în care să aplicăm acest standard incredibil pentru dovezi. De exemplu, dacă ai fi diagnosticat cu o boală şi medicul ți-ar spune că este sigur în proporție de 95% că datele studiilor clinice pentru tratamentul pe care ți-l oferă nu sunt o anomalie, ai lua medicamentul, nu-i aşa? Dar fizicienii de particule nu ar accepta acest lucru ca dovadă. Lucrând cu intervale de timp atât de lungi, la proiecte atât de mari, aceasta este doar o modalitate prin care fizicienii de particule se asigură că nu se amăgesc cu privire la ce este real şi ce nu.

Lederman a primit eşecul cu bună dispoziție, chiar şi după ce colegii săi au redenumit particula inexistentă OopsLeon în onoarea sa. Echipa E288 s-a întors la experimentul său în primăvara anului 1977 şi a început colectarea de noi date.

Când a apărut un vârf la aproximativ 9,5 GeV după doar şapte zile, unul dintre fizicieni, John Yoh, a exclamat: „Ce naiba se întâmplă!?” Dar, aşa cum dicta tradiția, a pus o sticlă de şampanie în frigider pe care scria „9,5”, pentru orice eventualitate.

De data aceasta, nu s-au grăbit să facă un anunț. Erau hotărâți să fie absolut siguri că această nouă particulă, produsă o dată la fiecare 100 de miliarde de protoni care se ciocneau cu ținta, nu era o anomalie. S-au apucat de treabă pentru a colecta mai multe date. La 20 mai, la ora 23, cablajul unui dispozitiv de măsurare a curentului de pe un magnet a cedat. Cablul s-a încălzit, s-a topit, apoi a provocat

un incendiu în tava de cabluri din apropiere. În scurt timp, un fum înțepător a umplut sala. Echipa a intrat în panică.

Pompierii au sosit la fața locului şi au stins rapid focul, dar imediat echipa a fost şi mai alarmată: apa pe care au folosit-o s-a combinat cu gazul de clor eliberat în aer de incendiu pentru a forma un acid care a început să corodeze componentele electronice ale experimentului. Dacă nu reuşeau să oprească coroziunea, nu ar fi reuşit niciodată să adune suficiente dovezi pentru a anunța noua particulă.

Disperat să salveze experimentul, Lederman a apelat la un expert olandez în recuperarea obiectelor în urma incendiilor, care a sosit în şaptezeci şi două de ore, aducând găleți cu o soluție secretă de curățare. Toți cei din echipa E288, personalul Departamentului de protoni, soți şi soții, prieteni şi secretare s-au alăturat fizicienilor într-o linie de producție pentru a înmuia, freca şi curăța cele 900 de plăci de circuite sub atenta supraveghere a expertului.

Experimentul fiind salvat, cinci zile mai târziu au început din nou să opereze şi să colecteze date. De data aceasta, „umflătura" de la 9,5 GeV a rezistat. Noua particulă avea o masă de aproximativ zece ori mai mare decât masa protonului.

Au verificat de două şi trei ori rezultatele, dar de data aceasta a fost cu siguranță un rezultat mai bun de 5-sigma.

La 15 iunie 1977, au convocat un seminar în Auditoriul Fermilab şi au anunțat că de data aceasta au reuşit. E288 descoperise o particulă complet nouă la 9,5

GeV, cea mai grea particulă descoperită vreodată şi prima descoperită la Fermilab. Au reutilizat numele „upsilon", dar de data aceasta numele – şi particula – au rezistat. Sticla de şampanie de 9,5 a fost băută cu sete în semn de sărbătoare, iar Fermilab a devenit un laborator de descoperiri experimentale.

Adaptarea noilor dovezi experimentale la evoluțiile teoretice nu a durat mult. Se pare că upsilon s-a dovedit a fi o combinație între un „quarc b” şi un „quarc anti-b”, unde b înseamnă „bottom” sau „beauty”, depinde pe cine întrebi. Noul quarc greu b fusese prezis încă din 1973, de teoreticienii japonezi Makoto Kobayashi şi Toshihide Maskawa, iar denumirile „top” şi „bottom” fuseseră inventate în 1975 de fizicianul israelian Haim Harari. În ciuda complexității crescânde a fizicii particulelor elementare, upsilon a confirmat că se contura o simplitate de bază, o teorie care indica faptul că natura are o simetrie plăcută. Existau şase leptoni (electron, miuon, tău şi neutrinii lor) şi şase quarci (up, down, strange, charm, bottom, top).

Retrospectiv, upsilon a fost, după cum a spus Lederman, „una dintre cele mai previzibile surprize din fizica particulelor elementare”. [12] Acum că se ştia că există quarcul bottom, rezulta că şi partenerul său greu, quarcul top (t), trebuie să existe. Deşi nu ştiau cu exactitate cât de greu era, deoarece teoria nu le spunea acest lucru, următorul pas la Fermilab era inevitabil. Aceştia urmau să caute al şaselea – şi ultimul – quarc.

Fermilab se ridica la înălțimea viziunii lui Wilson ca instalație națională şi internațională, dar nu terminase încă. Întotdeauna a avut în vedere mult mai mult decât această primă etapă. În momentul în care a descoperit upsilon, Fermilab nu mai avea cel mai mare accelerator din lume. Acest titlu revenise laboratorului CERN, care construise un inel de 7 kilometri lungime numit Super Proton Synchrotron, care atingea o energie de 450 GeV. Wilson şi Edwards îi depăşiseră cu mândrie, ajungând la 500 GeV cu inelul principal, care era doar puțin mai mic, dar acum Wilson dezvăluia planul pe care îl nutrise în tot acest timp.

Încă de la început, Wilson a privit dincolo de inelul principal pentru oportunități mai mari şi avea două idei în

minte. În primul rând, şi-a dat seama că, dacă un al doilea accelerator alcătuit din magneți puternici ar fi adăugat la complex, ar putea dubla energia fasciculului. Ar putea reutiliza acelaşi tunel pentru a crea fascicule la 1 000 GeV sau 1 TeV, ajungând la „scara tera” şi deschizând potențial un nou tărâm al descoperirilor. În al doilea rând, a vrut să construiască o maşină care să poată sparge particulele direct una în alta, în loc să le lovească într-o țintă fixă: un „ciocnitor” (collider) de particule, mai degrabă decât un simplu accelerator.

Noul inel, denumit „Energy Doubler”, dar cunoscut mai târziu sub numele de „Tevatron”, ar urma să fie amplasat direct sub inelul principal existent, unde Wilson se asigurase că va fi lăsat suficient spațiu pentru el. Planul era să accelereze protoni mai întâi în inelul principal existent, apoi să transfere fasciculul în noul inel Tevatron pentru a ajunge la 1 TeV. Menținerea acestor particule cu energie mai mare pe drumul cel bun a necesitat un tip complet nou de tehnologie magnetică, care să poată crea un câmp magnetic mai mult decât dublu față de cel al inelului principal. Electromagneții convenționali din fier şi cupru nu ar fi fost de ajuns, aşa că Wilson plănuise să folosească magneți supraconductori, numiți aşa fiindcă sunt fabricați din materiale care pot susține un curent electric enorm fără a genera căldură.

Materialele supraconductoare îşi pierd orice rezistență electrică sub o anumită temperatură, de obicei, la aproximativ -270 de grade Celsius, un efect descoperit în 1911. Cincizeci de ani mai târziu, au fost descoperite primele materiale supraconductoare[13] care puteau fi modelate în fire. Teoretic, firele ar putea conduce un câmp magnetic puternic. Problema era că nimeni nu realizase vreodată un magnet de accelerator în acest mod. Ca întotdeauna, Wilson a fost cu un pas înainte şi a demarat

un program pentru a afla cum să construiască magneți supraconductori în 1972, o mişcare uimitoare cu cinci ani înainte ca Lederman şi echipa E288 să descopere upsilon.

Cel de-al doilea aspect al viziunii îndrăznețe a lui Wilson a implicat coliziunea a două fascicule, iar acest lucru nu a fost mai puțin provocator. Coliziunea frontală a particulelor este o sarcină aproape imposibilă, deoarece fiecare particulă individuală este atât de mică, încât şansa ca aceasta să lovească frontal o altă particulă este infimă. Dar Wilson a insistat pentru acest lucru, deoarece ar fi deschis oportunități incredibile pentru descoperiri. În acceleratoarele anterioare, în care fasciculele de înaltă energie erau lovite de ținte fixe, conservarea energiei impunea ca cea mai mare parte a energiei fasciculului să fie folosită pentru a zdrobi particulele din țintă şi a le transporta. Doar o parte limitată din această energie este folosită pentru a crea noi particule. În fizica particulelor elementare, aceasta se numeşte energia centrului de masă, iar în cazul unui fascicul de 1 TeV care loveşte o țintă, sunt disponibili doar 43,3 GeV de energie utilă pentru crearea de particule. Orice particulă cu o masă mai mare de 43,3 GeV, pur şi simplu, nu poate fi creată.

Această cantitate a fost cea pe care Wilson a dorit să o îmbunătățească. Într-o coliziune frontală, toată energia de intrare se duce în energia centrului de masă, astfel încât două fascicule de 1 TeV care se ciocnesc au o energie a centrului de masă de 2 TeV, o performanță care ar necesita un accelerator cu o circumferință de sute de kilometri pentru a se realiza în experimentele tradiționale bazate pe ținte. Oricât de dificil ar fi fost, avantajul colliderului era clar.

Inelul principal inițial fusese cu siguranță dificil de construit, dar această nouă idee părea aproape o nebunie. Existau riscuri în toate privințele şi nici măcar o singură

piesă nu putea fi cumpărată „de pe raft”, prefabricată. Noul inel avea nevoie de 774 de magneți dipolari supraconductori de niobiu-titan, răciți în heliu lichid, pentru a curba fasciculul în cerc şi de alți 216 magneți cvadripolari pentru a-l focaliza. Aceştia aveau nevoie, de asemenea, de piese de schimb în cazul unor defecțiuni inevitabile. Nicio companie nu ştia cum să construiască magneții şi nici Fermilab nu ştia. Alvin Tollestrup, unul dintre principalii proiectanți, a prezentat ideea colegilor europeni de la CERN, iar mai târziu şi-a amintit „o încăpere mare cu aceşti tipi care stăteau acolo şi râdeau... credeau că suntem nebuni”. [14] Fizicienii de la CERN ştiau că nimeni din lume nu era capabil să construiască magneții de care avea nevoie Tevatronul şi, cu siguranță, nu în cantitatea necesară. Cum să faci ceva ce nu a mai fost făcut niciodată până acum, la o scară care pare aproape ridicolă, când nici măcar o singură companie nu este capabilă să producă acel ceva?

Primul pas a fost să se găsească materiile prime pentru magneți. În 1974, doar câteva companii specializate vindeau materiale supraconductoare din niobiu-titan pentru utilizatorii de înaltă tehnologie, iar majoritatea comenzilor erau de câteva grame sau cel mult câteva kilograme. Echipa Fermilab a întrebat cât ar costa să cumpere la tonă. Mai târziu în acel an, au plasat o comandă pentru achiziționarea unei cantități uluitoare de niobiu-titan, echivalentă cu 95% din materialul care fusese produs vreodată.

Cu materia primă pe drum, următoarea etapă a fost aceea de a afla cum să o transforme în cabluri. Mulți au încercat şi au eşuat, dar la Laboratorul Rutherford Appleton din Marea Britanie, o echipă a găsit o modalitate de a transforma prețiosul material de niobiu-titan în filamente foarte fine şi de a încorpora mii de filamente într-o matrice de cupru pentru a forma un mănunchi de fire, care, în cele

din urmă, forma un cablu. Pare uşor odată ce ştii cum se face, dar Fermilab a trebuit să ridice nivelul.

Odată ce şi-au dat seama, laboratorul a decis că va externaliza producția către producători, predând materiile prime şi rețeta pentru a obține lungimi mari şi perfecte de cablu. În loc să breveteze procedurile de fabricare a firelor, echipa Fermilab a decis să le pună la dispoziție în mod gratuit, deschizând astfel o competiție pentru producătorii care să furnizeze cablul finit pentru proiectul lor uriaş. Odată ce cablul a fost produs, acesta putea fi format în bobine şi alimentat pentru a crea un magnet.

Toată această grijă şi precizie a fost necesară pentru a se asigura că firele supraconductoare nu se „înăbuşe”[6], situație în care mici efecte termice pot face ca un magnet să îşi piardă starea de supraconducție şi să se încălzească brusc. O astfel de „înăbuşire” nu este doar un obstacol minor. Eliberează o cantitate enormă de energie şi, dacă nu o gestionezi corect, magnetul şi sursa sa de alimentare pot exploda pur şi simplu. Magneții supraconductori sunt o treabă extrem de delicată.

Astăzi avem retrospectiva a zeci de ani de cercetare, dar în anii 1970 nimeni nu avea o rețetă clară despre cum să construiască acest tip de magnet, iar complexitatea teoretică implicată era foarte puțin înțeleasă. Wilson, el însuşi un meşter practic şi priceput, şi-a dat seama de provocarea care îi aştepta şi a decis să creeze o „fabrică de supermagneți”, punându-l pe Tollestrup să se ocupe de dezvoltare. Magneții erau atât de sensibili la modificări, încât Tollestrup a decis că la fiecare încercare ar trebui să se

---

[6] În original, quench – fenomen specific magneților supraconductori, care apare de regulă la creşterea sau scăderea rapidă a intensității câmpului magnetic, când, practic, fluxul de electroni se blochează, adică magnetul supraconductor devine un magnet obişnuit. (N.r.)

modifice doar o singură variabilă. Nu exista altă cale de a progresa decât prin aproximări succesive.

Între 1975 şi 1978, au construit aproximativ 100 de magneți de 30 de centimetri lungime, fiecare cu un design uşor diferit, încercând la fiecare pas să descopere ce funcționează. Dacă un prototip scurt se dovedea promițător, construiau o versiune mai lungă, până când, în cele din urmă, au ajuns la un magnet de 6,7 metri, lungimea de care aveau nevoie. Experiența a dovedit că orice mică modificare a metodei de construcție putea însemna un dezastru. Doar pentru că un magnet funcționa bine când era de o lungime mai mică nu garanta că avea să funcționeze şi când era mai lung. [15]

Metoda de cercetare şi dezvoltare de la Fermilab a fost cu siguranță considerată neobişnuită la acea vreme. Ei au creat cunoştințele tehnice necesare fabricației pentru a mări producția de la magneți de lucru individuali la aproape o mie de unități şi au făcut totul în interiorul fabricii pentru a se asigura că pot controla detaliile fine şi pentru a obține calitatea şi consecvența necesare. În cele din urmă, trebuiau să se asigure că fiecare magnet era exact la fel, evitând orice imperfecțiune sau diferență magnetică, deoarece oricare dintre acestea ar fi avut un efect dezastruos asupra fasciculului de protoni. Doar după acest efort intensiv, de mai mulți ani, magneții au putut fi înşirați într-un inel şi transformați într-un accelerator de particule.

Aceste lucrări de dezvoltare a magneților se desfăşurau în timp ce upsilon era descoperit, şters din arhive şi apoi descoperit din nou. Wilson a împărțit efortul personalului de la accelerator şi le-a cerut unora dintre ei să se concentreze doar pe inelul principal, în timp ce alții lucrau la Tevatron. Printre cei din ce în ce mai frustrați se număra Helen Edwards. Împreună cu alte câteva persoane, avea motive de îngrijorare cu privire la Tevatron, aşa că împreună au format

un grup neoficial numit Comitetul pentru parametri subterani, pentru a lucra la aspectele de proiectare care îi deranjau. Wilson a aflat şi a decis să le susțină activitatea, de la distanță.

Dar problemele tehnice nu erau singura preocupare. Fermilab era în criză de bani, iar guvernul încă nu aprobase fonduri pentru Tevatron. În 1978, cu lipsa de fonduri şi în condițiile în care viziunea Tevatronului nu se realizase încă, Wilson a devenit din ce în ce mai frustrat de rolul său de director. În cele din urmă, el a decis să plece, cedându-i lui Leon Lederman rolul de conducător al Fermilab.

Acesta a trebuit să decidă – şi încă rapid – dacă ar fi bine să continue cu noul inel sau să accepte ce au pierdut până atunci şi să transforme inelul principal într-un accelerator de tip collider. Concurența din partea CERN a fost necruțătoare. Aceştia adaptaseră deja Super Proton Synchrotron într-un accelerator de coliziuni cu 270 GeV în fiecare fascicul, ceea ce dădea o energie de 540 GeV în centrul de masă, cu care se puteau căuta particule grele.

Lederman a organizat o şedință de analiză în noiembrie 1978, cunoscută drept „dezbaterea decisivă". Cei care susțineau şi cei care contraziceau construirea Tevatronului şi-au prezentat argumentele, iar experți din alte laboratoare au fost aduşi în calitate de judecători. Aceştia s-au convins că nu puteau concura cu CERN construind un collider din inelul principal. De asemenea, au devenit treptat siguri că, în ciuda tuturor riscurilor, Tevatronul era fezabil. În timpul acestei dezbateri, un al doilea avantaj al magneților supraconductori a devenit evident. Într-o perioadă în care prețurile petrolului erau în creştere galopantă şi în care abundau penuriile de electricitate, factura de electricitate a Fermilabului ajunsese la aproximativ 10 milioane de dolari pe an, o parte uriaşă din costurile de funcționare ale laboratorului. Magneții supraconductori ar putea fi

alimentați şi apoi lăsați să funcționeze, ceea ce ar permite laboratorului să economisească aproximativ 5 milioane de dolari pe an la facturile de energie.

La sfârşitul a două zile de dezbateri, Lederman a luat o decizie: vor continua cu Tevatronul. Departamentul Energiei, proaspăt înființat, a fost de acord cu planul în etape. Echipa de la Fermilab trebuia să demonstreze că şirurile de magneți funcționează fiabil, mai întâi într-o sală de testare şi apoi în tunelul principal, înainte ca proiectul să fie autorizat să continue.

Sarcina de a conduce proiectarea şi construcția acceleratorului Tevatron a reprezentat o provocare enormă, iar Lederman i-a însărcinat pe Helen Edwards şi Rich Orr cu această responsabilitate. Orr era un fizician originar din Iowa, cunoscut pentru comportamentul său calm. Ajutase la construirea laboratorului de mezoni şi, la fel ca Edwards, devenise cunoscut pentru abilitățile sale de a apropia oamenii şi de a-i încuraja spre succes. Împreună formau un duo formidabil care ştia cum să facă din echipă prima prioritate, ceea ce se va dovedi a fi esențial într-un proiect de dimensiunea Tevatronului.

Testarea magnetului a decurs fără probleme. A fost atât de reuşit, încât au decis să forțeze magneții pe cât puteau, făcând curentul să ajungă până la 4 000 de amperi, încercând să provoace fenomenul de quenching. Sistemele de protecție împotriva quenching-ului au funcționat de minune, lăsând să iasă heliu clocotitor şi protejând magneții. Au încercat să provoace arcuri electrice, dar, după cum a povestit Rich Orr mai târziu, „nu am reuşit”. Magneții erau pregătiți. Producția s-a accelerat, fabrica de magneți a intrat în modul de producție maximă, iar muncitorii puteau fi găsiți în tunel nonstop, instalând țevi, făcând conexiuni, lucrând la instalația electrică şi instalând magnet după magnet.

Pe la jumătatea lunii iunie 1983, fasciculul a început să funcționeze în inelul Tevatron. Două săptămâni mai târziu, la 3 iulie, au atins o energie a fasciculului de 512 GeV, un nou record mondial. Au preluat conducerea de la rivalii lor europeni, iar ziarele au anunțat succesul lor. Dar pentru Edwards şi Orr urma o provocare şi mai mare. Ei urmau să încerce să transforme aparatul într-un collider, transformând un fascicul de protoni într-un fascicul de antiprotoni.

Idei pentru collidere existau cel puțin din anii 1950 şi 1960. [1] Primul care a fost construit a fost un mic collider de electroni numit AdA (Anello Di Accumulazione) la Frascati, în Italia, în 1961. CERN a construit primul accelerator de protoni, numit Intersecting Storage Rings (ISR), în 1971, care a atins o energie de 60 GeV în centrul de masă. Cu o energie de aproape 40 de ori mai mare decât cea a ISR, Tevatronul urma să ciocnească protoni şi antiprotoni la o scară mult mai mare decât ceea ce se întâmplase până atunci.

Pentru ca un collider să funcționeze corect este nevoie de multă ingeniozitate tehnică. Densitatea unui fascicul de particule este mai mică decât cea a unei ținte solide sau lichide, astfel încât fasciculele trebuie să se intersecteze de mai multe ori şi trebuie să se înghesuie cât mai multe particule în fiecare fascicul. Odată ce protonii şi antiprotonii se aflau în inel, a fost nevoie de aproximativ douăzeci de secunde pentru a aduce fasciculele la 1 TeV, moment în care acestea urmau să fie dirijate cu ajutorul unor magneți pentru a se intersecta în două locuri. În cele din urmă, când toate au fost puse cap la cap, la 30 noiembrie 1986[17], primele fascicule de protoni şi antiprotoni s-au ciocnit unul de celălalt. Fizicienii de la accelerator reuşiseră să realizeze imposibilul: cel mai mare accelerator supraconductor din lume. Dar acolo unde s-a încheiat munca lor, a început

munca fizicienilor experimentalişti din domeniul particulelor elementare.

La începutul anilor 1970, numeroasele descoperiri de până atunci au fost reunite matematic pentru a forma o teorie globală numită modelul standard al fizicii particulelor elementare. Modelul standard include toate particulele descoperite până acum, de la electron, miuon, tău şi neutrini, până la quarci şi particulele compuse ale acestora: protoni, neutroni, alături de pioni, kaoni, particule de rezonanță şi aşa mai departe. Cu toate acestea, a mai rămas un quarc de descoperit: quarcul top. Se aştepta ca acesta să fie greu, aşa că, pentru a-l găsi, ar fi fost nevoie de coliziuni cu o energie cât mai mare posibil. Aceasta era motivația experimentatorilor care au construit Tevatronul.

Echipe internaționale de fizicieni s-au apucat de treabă pentru a pune la punct două experimente majore, ceea ce a presupus construirea a două detectoare enorme în punctele de pe inel în care s-au ciocnit fasciculele Tevatronului. Prima echipă experimentală a construit Detectorul de Coliziuni de la Fermilab (CDF – Colliding Detector at Fermilab) şi i-a ales pe Alvin Tollestrop şi Roy Schwitters ca purtători de cuvânt. Colaborarea de la CDF s-a format rapid, fizicieni de la Universitatea din Pisa, Italia, şi de la Universitatea din Tsukuba, Japonia, alăturându-se colegilor din aproximativ zece instituții americane. CDF a fost un detector cilindric stratificat uriaş de 4 500 de tone încorporat într-un solenoid supraconductor pentru curbarea fasciculelor de particule şi a permite determinarea impulsului lor. Diferitele straturi ale detectorului erau sensibile la diferite particule, permițând celor 87 de oameni de ştiință care au lucrat la el să măsoare energia, sarcina şi tipul particulelor şi să creeze reconstrucții digitale ale resturilor rezultate în urma coliziunilor de particule. Toate straturile erau acum complet electronice, astfel încât

colectarea şi calcularea datelor au devenit parte integrantă a experimentului. Pentru a construi detectorul, fiecare instituție colaboratoare şi-a asumat responsabilitatea pentru o parte diferită a detectorului şi s-a ocupat de aspectele financiare şi tehnice ale construcției şi livrării acestuia.

În cele din urmă, totul a fost pus la punct şi a început să colecteze date în 1986.

După CDF, a fost construit un al doilea detector, DZero (denumit astfel după poziția sa în inel). Echipa DZero a avut ceva de recuperat, dar, în cele din urmă, colaborarea a ajuns la o dimensiune similară cu cea de la CDF şi ambele au ajuns să aibă câteva sute de colaboratori. Au fost necesare două experimente pentru a asigura verificarea independentă a unei eventuale noi fizici. DZero a fost puțin mai voluminos decât CDF. Cântărind 5 500 de tone, avea o înălțime de peste patru etaje, cu straturi de detectoare similare cu CDF. DZero a început să preia date în 1992.

Aceste două dispozitive incredibile au constituit un nou tip de detector de particule care se înfăşura în jurul liniei fasciculului. Detectoarele erau atât de complexe şi atât de costisitoare, încât nu puteau fi demontate la sfârşitul unui ciclu experimental, aşa cum se întâmpla în cazul experimentelor anterioare cu acceleratoare. În schimb, trebuiau să devină detectoare cu scopuri multiple, deoarece era necesar să rămână la locul lor. Dimensiunea experimentelor pe care fizicienii plănuiau să le desfăşoare în acest nou accelerator era fără precedent şi putea dura mai mult decât este nevoie pentru a obține un doctorat sau pentru a lucra la un post de profesor titular. Chiar şi conducătorul experimentelor urma să preia frâiele o vreme înainte de a le preda unui alt coleg. Aceasta nu mai era doar Big Science, ci megascience. Fermilab a trecut de la statutul de laborator național pentru utilizatori la unul cu adevărat

internațional, cu cercetători din multe părți ale lumii care s-au alăturat programului.

Erau necesare două experimente pentru a asigura verificarea independentă a oricărei noi fizici. La sfârşitul anului 1993, la Tevatron, participanții la cele două experimente au început să vorbească cu prudență despre dovezile existenței unui al şaselea quarc, quarcul top, dar aveau nevoie de mai mult timp şi de mai multe date pentru a atinge nivelul crucial de dovezi de 5-sigma. În cele din urmă, în 1995, cele două echipe au anunțat descoperirea quarcului top. Găsiseră ultima particulă de materie din modelul standard, de departe cea mai grea particulă fundamentală descoperită vreodată. Un quarc top cântăreşte mai mult decât un atom de aur, deşi este o particulă punctiformă ca un electron. Are o durată de viață de doar o jumătate de trilionime de trilionime de secundă (5 × 10-25 secunde), dezintegrându-se în următorul quarc ca greutate, quarcul bottom. [18]

Quarcul top are o durată de viață atât de scurtă, încât nu are timp să se combine cu alți quarci, aşa că, spre deosebire de alți quarci, care se combină întotdeauna între ei, quarcul top îşi petrece singur viața incredibil de scurtă. A fost o călătorie de două decenii de la descoperirea în anii 1970 a quarcului bottom în upsilon până la descoperirea epocală a partenerului său – quarcul top –, iar această realizare a ținut prima pagină a ziarelor din întreaga lume.

Este extraordinar de dificil să găseşti o particulă precum un quarc top, deoarece crearea sa este extrem de rară chiar şi printre resturile de coliziune ale Tevatronului. Pentru a face acest lucru, a fost nevoie ca fizicienii care studiază particulele experimentale să fie experți nu doar în experimentele practice, ci şi în statistică şi metode de calcul. Acesta era un set de competențe destul de diferit de cel al colegilor lor chiar şi cu douăzeci de ani mai devreme. În

mare parte, acest lucru se datorează faptului că interacțiunile dintre particule sunt de natură probabilistică, aşa cum dictează mecanica cuantică. Nu toate elementele experimentului puteau fi calculate manual şi nu avea sens să construiască un experiment care să nu fie capabil să găsească quarcul top sau alte particule şi procese pe care le căutau, astfel încât pregătirea era esențială. Deci, cum au făcut acest lucru? Folosind simulări pe calculator, fizicienii au putut introduce toate informațiile teoretice cunoscute şi probabilitățile implicate şi apoi au folosit o abordare cunoscută sub numele de simulare „Monte Carlo” pentru a obține o imagine de ansamblu a rezultatelor statistice ale experimentului.

Numele tehnicii provine de la faimoasa „eroare Monte Carlo”, sau eroarea jucătorului, care se referă la ideea că, deşi un singur eveniment poate fi imprevizibil, rezultatul mai multor evenimente poate fi bine definit. Povestea sună astfel.

În 1913, la cazinoul Monte Carlo din Monaco, o bilă de ruletă a picat pe negru de 26 de ori la rând. Şansa ca acest lucru să se întâmple este de una la 66,6 milioane, dar şansa de a cădea pe negru la fiecare rotire este întotdeauna aceeaşi, de 50%. Cu fiecare nouă rotire, pariorii erau convinşi că următoarea bilă va cădea cu siguranță pe roşu. Pe măsură ce numărul de învârtiri care picau pe negru creştea, de la opt, nouă, zece şi mai multe, ei deveneau atât de siguri că trebuie să cadă pe roşu la următoarea învârtire, încât au pariat milioane de franci.

Au pierdut totul. Singura modalitate garantată de a nu pierde bani pariind pe acest tip de jocuri statistice este să continui să îți măreşti pariul de fiecare dată când pierzi, astfel încât, atunci când câştigi, să îți recuperezi pierderile anterioare. Acest lucru nu numai că este extrem de dificil din punct de vedere psihologic, dar, de asemenea, nu este,

de obicei, permis de cazinou. Aceştia limitează mărimea pariului pe care îl poți plasa, astfel încât să câştige întotdeauna.

Rezultatele previzibile ale acestor rotiri de ruletă au inspirat matematicieni, inclusiv pe Stanislaw Ulam şi John von Neumann, în 1946, când Ulam lucra la Los Alamos. Echipa sa se confruntase cu o provocare în care trebuia să calculeze difuzia neutronilor într-un material. Cunoşteau distanța medie pe care un neutron o parcurge înainte de a lovi un nucleu atomic şi ştiau câtă energie era implicată în coliziune, dar, în ciuda acestui fapt, nu puteau calcula răspunsul matematic.

Ulam se afla în spital, în recuperare după o intervenție chirurgicală, şi încerca să calculeze şansele de reuşită a unei mâini în timp ce juca Solitaire, când a avut o idee. De ce să nu facă un set mare de încercări – cum ar fi o rotire a ruletei, o aruncare a unei monede sau o mână la Solitaire – şi să vadă ce se întâmplă în fiecare caz? Urmărind rezultatele unui număr mare de neutroni, în care fiecare urmează o serie diferită de coliziuni definite de probabilități cunoscute, ar putea fi determinată difuzia globală a neutronilor. Unul dintre colegii lui Ulam a numit această tehnică metoda Monte Carlo.

În timp, pe măsură ce puterea de calcul a crescut, aceste metode au devenit din ce în ce mai puternice. Ideea generală este de a evita efectuarea manuală a unor calcule incredibil de lungi – sau chiar imposibile – şi de a efectua, în schimb, un număr mare de încercări aleatorii. Fizica particulelor elementare a rămas în avangarda acestor evoluții, astfel încât, în momentul construirii Tevatronului, fizicienii foloseau deja simulări Monte Carlo sofisticate, generate pe calculator, pentru a proiecta detectoare, a modela rezultatele experimentelor şi multe altele.

În acest fel, fizicienii de particule experimentale pot crea seturi de date care arată foarte asemănător cu ceea ce se aşteaptă să creeze experimentul lor. Aceştia pot dezvolta algoritmi pentru a analiza datele preconizate chiar înainte ca experimentul să fie construit, ceea ce le permite să verifice incertitudinile asociate şi să vadă dacă experimentul are şansa de a produce un rezultat semnificativ din punct de vedere statistic (ştiind cât de pretenţioşi suntem cu privire la semnificaţia statistică, acest lucru merită efortul!). Dacă există un model teoretic pentru o particulă sau o interacţiune, ei pot chiar genera „semnalul" pe care îl caută şi îl pot ascunde în fundal pentru a verifica dacă algoritmul de analiză îl găseşte cu succes.

Această fază de pregătire laborioasă înseamnă că fizicienii îşi pot rula algoritmii de analiză imediat ce dispun de date experimentale reale pentru a vedea dacă există o diferenţă faţă de simulare. Dacă există, acesta este un prim indicator că am descoperit o nouă fizică. Atunci când se creează un experiment pentru a găsi interacţiuni rare, cum ar fi crearea unui quarc top, aceasta este cea mai bună metodă pe care o avem pentru a ne asigura că vom găsi semnale mici printre toate efectele fizice cunoscute. Printre nenumăratele miliarde de coliziuni de particule care au avut loc la Tevatron, fizicienii au reuşit astfel să identifice cele câteva zeci de quarci top produse anual.

Acest nivel ridicat de pregătire statistică pe care îl primesc fizicienii poate avea unele consecinţe neobişnuite. Odată, în timpul unei conferinţe la Fermilab, la un pahar de băutură, nişte colegi americani mi-au împărtăşit o poveste despre conferinţa Societăţii Americane de Fizică din 1986, cea mai mare reuniune de fizică din Statele Unite. Conferinţa a trebuit să găsească un nou loc de desfăşurare în scurt timp pentru a găzdui un număr impresionant de 4 000 de fizicieni. Fireşte, au ales oraşul care găzduieşte peste 21 000

de conferințe pe an, Las Vegas. În loc să joace jocuri de noroc, fizicienii au preferat să se adune în jurul unor mese cu o băutură gratuită şi cu hârtie şi pix pentru a face schițe sau calcule în timp ce discutau. Fără să înțeleagă în prealabil, au făcut în mod colectiv singura mişcare care era garantat câştigătoare la jocurile de noroc: nu au jucat deloc. Ca urmare, hotelul a suferit cea mai proastă săptămână financiară înregistrată vreodată. Conferința a fost un dezastru atât de mare pentru hotel, încât, la sfârşitul săptămânii, oraşul Las Vegas le-a cerut oficial să nu se mai întoarcă niciodată. Din câte ştiu eu, povestea este adevărată.

Lăsând la o parte folclorul, cunoştințele statistice şi expertiza implicate în tehnicile de simulare Monte Carlo înseamnă că fizicienii din domeniul parti- culelor elementare sunt extrem de bine plasați pentru a construi modele de procese şi sisteme din afara fizicii şi sunt foarte căutați pentru a face acest lucru.

Simulările Monte Carlo sunt utilizate în toate domeniile, de la prognoza meteo la modelarea financiară, în telecomunicații şi inginerie, în biologia computațională şi chiar în drept. Mulți dintre colegii mei de pe vremea când eram student au ajuns să lucreze în consultanță, în domeniul bancar, în modelarea schimbărilor climatice şi în epidemiologie. Îmi amintesc că mulți dintre aceşti prieteni care făceau tranziția de la fizică îşi exprimau o surpriză autentică față de faptul că nivelul de pregătire informatică şi statistică al noilor lor colegi implica doar foi de calcul elementare.

*

Tevatronul a fost un proiect ambițios din multe puncte de vedere, dar unul dintre cele mai impresionante efecte secundare a fost în domeniul tehnologiei magneților supraconductori. Încă din anii 1940, alți fizicieni îşi

dăduseră seama că magneții puternici puteau alinia atomii de hidrogen în interiorul corpului uman şi că, prin utilizarea unei secvențe speciale de câmpuri magnetice şi unde radio, se puteau măsura diferite materiale din interiorul corpului, inclusiv locul în care se aflau atomii de hidrogen individuali. Tehnica a fost denumită inițial „rezonanță magnetică nucleară" sau RMN, redenumită ulterior „imagistică prin rezonanță magnetică" sau IRM. Când a fost inventată, nu exista nicio modalitate de a crea câmpuri magnetice suficient de puternice pentru ca aceasta să fie utilă şi viabilă din punct de vedere comercial. Tevatronul a schimbat toate acestea.

Proiectul ambițios al Fermilab a creat cererea şi cunoştințele de care industria avea nevoie pentru a produce volume comerciale de sârmă supraconductoare de înaltă calitate. Au fost implicați doi producători principali: Intermagnetics General Corporation (IGC) a furnizat 80% din sârmă, iar Magnetic Corporation of America (MEA) restul. Alți furnizori au apărut pe măsură ce comunitatea de fizică de înaltă energie a adoptat tehnologia pe scară mai largă. La CERN se dezvolta o cameră cu bule de mari dimensiuni care folosea magneți supraconductori, în timp ce în domeniul energiei nucleare, marile dispozitive de confinare magnetică numite tokamak foloseau şi ele fire supraconductoare.[1]

Piața a luat avânt şi magneții supraconductori au devenit disponibili pentru o utilizare pe scară largă.

În prezent, scanerele RMN disponibile sunt utilizate pentru a realiza imagini ale interiorului corpului uman, îndeosebi ale țesuturilor moi. Ele reprezintă o tehnică complementară scanărilor de tomografie computerizată despre care am vorbit deja, dar RMN este unic prin faptul că nu foloseşte radiații ionizante pentru a realiza imaginile. În prezent, le găseşti în majoritatea spitalelor importante din

țările dezvoltate, unde sunt utilizate pentru a permite o detectare mai bună şi în timp util a multor tipuri de cancer, pe lângă realizarea de imagini ale coloanei vertebrale, inimii, plămânilor şi altor organe. În ultimii cinci ani, scanerele RMN au fost chiar combinate cu acceleratoare de radioterapie (vezi capitolul 10) pentru a realiza un „RM-Linac", permițând terapia ghidată prin imagine şi capacitatea de a modifica doza de tratament în funcție de modificările zilnice ale formei, dimensiunii şi poziției tumorii.[2]

Pe lângă utilizarea medicală în spitale, vei găsi multe scanere RMN şi în laboratoarele de cercetare. Tehnica de rezonanță magnetică nucleară funcțională (RMNf) este capabilă să arate unde curge sângele în creier, ceea ce indică zonele de activitate cerebrală. Acest lucru a facilitat o revoluție în înțelegerea creierului, a naturii conştiinței şi a formării amintirilor. De asemenea, a dus la descoperirea neurotoxinelor care sunt eliminate din creierul nostru în timpul somnului, ceea ce ar putea conduce la progrese în tratarea bolii Alzheimer.

În prezent, există o piață globală de 10 miliarde de dolari pe an, în creştere, pentru scanerele RMN.[21] Numai aplicațiile RMN demonstrează mai mult decât argumentul inițial al lui Bob Wilson, atunci când a declarat în fața Congresului că vor exista efecte secundare pe termen lung în urma Tevatronului. Deşi a fost nevoie de zeci de ani de cercetare pentru ca acest lucru să fie posibil, investiția pare acum mai mult decât justificată. Desigur, fizicienii de la Fermilab nu pot pretinde că au inventat tehnicile RMN. Dar, fără inovația magnetică necesară pentru construirea Tevatronului, tehnologia supraconductoare din spitale ar fi putut să nu devină niciodată o realitate.

Tehnologia magneților supraconductori a fost adoptată şi în alte domenii în afara acceleratoarelor de particule şi a

RMN-ului. Fizicienii de la Brookhaven au avut succes cu brevetul lor din 1968 privind conceptul de Maglev, o tehnologie de transport care utilizează levitația magnetică supraconductoare şi care este utilizată în prezent în unele dintre cele mai rapide trenuri din lume. Magneții supraconductori sunt utilizați şi în generarea şi transmiterea energiei electrice, în reactoarele de fuziune experimentale şi în sistemele de stocare a energiei. După cum spunea Robert Marsh de la Teledyne Wah Chang, în prezent cel mai mare furnizor mondial de aliaje supraconductoare: „Fiecare program de supraconductivitate existent în prezent se datorează, într-o anumită măsură, faptului că Fermilab a construit Tevatronul şi a funcționat”. [22]

Până ce Tevatronul a găsit quarcul top, fizicienii din Statele Unite au fost nevoiți să înghită un hap amar. Cu toate succesele lor, propriul lor guvern îi forța acum să predea Europei ştafeta locului de cinste la nivel mondial în domeniul fizicii de înaltă energie.

În timp ce Wilson şi Edwards inventau Tevatronul la mijlocul anilor 1970, începuseră să apară teorii care indicau noi idei cu nume care atrăgeau atenția, cum ar fi supersimetria, tehnicolorul şi teoria corzilor. Toate acestea au fost coerente în a prezice că ar exista ceva dincolo de raza de energie a Tevatronului.

Mai mult, modelului standard, punctul culminant al deceniilor de cercetare în fizica energiilor înalte, îi lipsea încă o piesă finală. Modelul standard conținea o predicție pe care trebuia să o confirme sau să o infirme, bosonul Higgs, o particulă purtătoare de forță (cu spin 0) a cărei masă era necunoscută. Leon Lederman a încercat să sublinieze importanța acestei piese lipsă din puzzle, numind-o „particula lui Dumnezeu”.

Era uşor de observat direcția în care se îndrepta fizica de înaltă energie. Toate aceste idei necesitau acceleratoare care să poată ciocni particule la energii mai mari decât Tevatronul. Dar bugetul pe care guvernul american era dispus să îl cheltuiască pentru această întreprindere era fix sau chiar în scădere. Statele Unite văzuseră cum Europa se unea pentru a construi CERN, unde tocmai începuse să excaveze un tunel enorm, de 27 de kilometri lungime, care traversează Franța şi Elveția pentru a găzdui următoarea lor instalație. Următorul pas logic a fost să depăşească CERN prin unirea forțelor la nivel global şi construirea a ceea ce ei au numit un Laborator Mondial.

Leon Lederman a fost un susținător puternic al construirii unui nou aparat cu parteneri globali care să ajute la plata acestuia, iar ideea unui accelerator de douăzeci de ori mai puternic decât Tevatron a apărut încă din 1976. Au schițat un inel lung de 87,1 kilometri, alcătuit din magneți supraconductori, pentru a ciocni două fascicule de 20 TeV, numit Superconducting Super Collider (SSC). Aceştia au asigurat guvernul că acest proiect va readuce SUA în fruntea fizicii de înaltă energie. Un proiect de asemenea anvergură ar aduce prestigiu şi chiar ar stimula economia locală, creând aproximativ 13 000 de locuri de muncă. Fermilab dorea ca aparatul să fie amplasat în Illinois, dar statul Texas a câştigat licitația şi s-a ales un amplasament în Waxahachie, la 48 de kilometri sud de Dallas. Proiectul a fost aprobat în 1983, iar până la mijlocul anilor 1980, echipele de excavare au început să creeze tunelurile enorme. Fizicianul Roy Schwitters de la Universitatea din Texas, Austin, care condusese experimentul CDF, a devenit directorul proiectului.

Apoi au început problemele. Pentru a aborda un proiect de o asemenea amploare, Departamentul de Energie a încercat să impună un stil de lucru militaro-industrial, care

nu a fost deloc pe placul oamenilor de ştiinţă. Oamenii de ştiinţă au fost acuzaţi de management defectuos şi de incapacitatea de a controla bugetul şi programul. Încrederea a început să se erodeze. În 1987, proiectul a fost auditat şi a urmat o dezbatere aprinsă despre costul ridicat al proiectului, estimat la 4,4 miliarde de dolari. Era aceeaşi sumă, au susţinut ei, pe care o plătea NASA drept contribuţie la Staţia Spaţială Internaţională. Cu toate acestea, spre deosebire de Staţia Spaţială, SSC nu se ridica la înălţimea viziunii sale de laborator mondial. Retorica naţionalistă a Statelor Unite, lider în domeniul fizicii energiilor înalte, a câştigat susţinerea guvernului său, dar nu s-a potrivit bine cu partenerii lor globali, inclusiv Canada, Japonia, India şi Europa. Când s-a ajuns la limită, niciuna dintre ţările partenere nu s-a angajat să finanţeze proiectul, cu excepţia unei promisiuni de 50 de milioane de dolari din partea Indiei.

În 1992, Statele Unite erau în recesiune, iar bugetul a crescut la 12 miliarde de dolari. Uniunea Sovietică se prăbuşise, aşa că nu mai părea să existe prea multe motive pentru a dovedi superioritatea SUA cu megaproiecte. Congresul a vrut să pună capăt schemei. În acest moment, fuseseră construiţi 22,5 kilometri de tunel, se cheltuiseră 3 miliarde de dolari şi fuseseră construite clădirile pentru a găzdui oamenii de ştiinţă şi atelierele. Două mii de oameni erau angajaţi, sute dintre ei oameni de ştiinţă care au urmat viziunea acestui proiect uriaş şi şi-au mutat familiile întregi din ţări precum Japonia, India şi Rusia. Aceştia credeau că era prea mare şi prea avansat pentru a fi anulat. În ultimul moment, Bill Clinton a intervenit pentru a încerca să salveze proiectul, argumentând în faţa Congresului că ar fi pus capăt la mai mult de trei decenii de proeminenţă în ştiinţa fundamentală.

În cele din urmă, nu s-a putut face nimic. Congresul a decis să pună capăt proiectului, iar la 1 octombrie 1993, Clinton a semnat cu părere de rău legea care a pus capăt visului. Superconducting Super Collider nu mai era nimic altceva decât un tunel parțial finalizat în pământ. Au fost multe lecții învățate din căderea SSC, dar, pentru mine, cea mai importantă este aceea că marea ştiință nu mai era un instrument naționalist pentru a domina pe scena mondială. Națiunile colaboratoare se aşteptau să fie tratate ca parteneri, nu ca frați mai mici, în astfel de eforturi uriaşe. Dacă SSC ar fi fost un Laborator Mondial cu adevărat internațional, aşa cum fusese prevăzut inițial, poate că lucrurile ar fi decurs altfel. Clădirile au fost achiziționate ulterior de un producător de produse chimice numit Magnablend, iar astăzi tunelurile subterane colectează apă de ploaie. Se zvoneşte că unii întreprinzători le folosesc acum ca un loc întunecat şi umed pentru a cultiva ciuperci organice.

În ciuda dispariției succesorului său, Tevatronul în sine a fost un proiect remarcabil care a deschis calea pentru acceleratoarele supraconductoare din întreaga lume. Ca urmare, a fost descoperit ultimul quarc din modelul standard – quarcul top. În acelaşi timp, fizicienii de la CERN descoperiseră particule grele purtătoare de forță, numite bosonii W şi Z, care au contribuit la consolidarea înțelegerii forței slabe şi a modelului standard al fizicii particulelor elementare. În cele din urmă, în anul 2000, Tevatronul a descoperit şi neutrinoul tauonic, completând lista particulelor de materie din modelul standard. Cu toate acestea, lipsea încă o piesă nedescoperită din puzzle: o particulă purtătoare de forță numită bosonul Higgs.

Pe lângă această piesă lipsă, teoreticienii şi experimentatorii se aflau la o margine de prăpastie: teoreticienii indicau o fizică dincolo de modelul standard, în

timp ce experimentatorii aveau instrumentele şi încrederea necesare pentru a căuta chiar şi cele mai greu de găsit particule cu ajutorul unor acceleratoare mari de tip collider. S-ar putea configura în sfârşit o teorie a tuturor lucrurilor? Aveau nevoie doar de colliderul potrivit pentru a afla. Experimentatorii de la Tevatron au creat un program pentru a începe să caute bosonul Higgs începând cu 2001, cu Tevatron „Run II", dar, pentru mulți alții, atenția s-a mutat peste ocean, în Europa. La CERN a fost construită o maşină care se baza pe moştenirea supraconductoare a Tevatronului. Large Hadron Collider – Marele Accelerator de Hadroni – era pe cale să prindă viață.

Capitolul 12

Marele accelerator de hadroni: bosonul Higgs şi dincolo de el

La 10 septembrie 2008, fizicienii din întreaga lume aşteptau cu nerăbdare punerea în funcțiune a celei mai mari maşini de pe Pământ, Marele accelerator de hadroni – Large Hadron Collider. LHC este un collider circular de protoni cu protoni, cu o lungime de 27 de kilometri, construit la CERN, lângă Geneva, la 100 de metri sub pământ, sub granița dintre Franța şi Elveția. Aparatul a pornit ca o idee în 1984, a fost aprobat de Consiliul CERN pentru construcție în 1994 şi, după două decenii şi jumătate de muncă, era pe cale să accelereze protoni pentru prima dată. Pentru fizicianul galez Lyndon (Lyn) Evans – care a supervizat LHC în calitate de director de proiect de când a început să fie construit în 1994 – a fost punctul culminant al întregii sale cariere în construcția de acceleratoare de particule.

Evans pare un om modest, amabil şi animat de spirit practic. [1] Această modestie se manifestă şi prin faptul că rareori îşi menţionează propria carieră în interviuri, dar porecla sa îl trădează puţin. „Evans atomul" este forţa elementară din spatele LHC. Evans a lucrat la CERN încă din 1969, dar cariera sa l-a purtat oriunde a fost nevoie de cunoştinţele sale, urmărind coliderе de energie din ce în ce mai mari: de la Super Proton Synchrotron de 300 GeV de la CERN la Tevatronul de la Fermilab şi Superconducting Super Collider din Texas. Atunci când acesta a fost anulat, LHC a devenit viitorul fizicii particulelor elementare, iar realizarea proiectului a fost raţiunea de a fi a lui Evans: „nu există nimic mai mare decât ceea ce un om de ştiinţă poate spera să realizeze", a spus el.[2]

Evans era conştient de anvergura muncii sale şi se simte copleşit de fiecare dată când intră în tunelul LHC.[3] Munca sa de a construi colliderul a implicat supravegherea a aproximativ 2 500 de angajaţi CERN, împreună cu alţi 300 de oameni de ştiinţă şi ingineri din Rusia, China, Statele Unite şi alte ţări care au construit componente pentru accelerator. Evans îşi aminteşte că, atunci când l-a întâlnit pe preşedintele Chinei, s-a gândit: „Nu-i rău pentru un tip din Aberdare[7]!"[4]

Din păcate, nu toată lumea a fost la fel de entuziasmată de demararea proiectului LHC ca Evans şi colegii săi. În perioada care a precedat ziua cea mare, anumite canale de ştiri erau pline de titluri de genul „Oamenii de ştiinţă «nu vor distruge Pământul» „ şi au fost ocupate să colporteze ideea că LHC ar putea crea o gaură neagră şi ne-ar putea distruge pe toţi, alimentate de un proces juridic prost informat, care încerca să oprească pornirea maşinăriei.

---

[7] Oraşul galez de origine al lui Lyn Evans. (N.r.)

Acest tip de conspirație apare de fiecare dată când se pune în funcțiune un nou accelerator mare.

„Maşinăria Big Bang ar putea distruge Pământul”, anunța un titlu de ziar în 1999, când în Statele Unite a fost lansat un accelerator numit Relativistic Heavy Ion Collider. Bineînțeles, acesta funcționează fără probleme.

Razele cosmice bombardează Pământul din spațiu în permanență cu energii mult mai mari – de mii de ori mai mari decât fasciculele produse de Large Hadron Collider – şi au făcut asta pe parcursul întregii existențe de cinci miliarde de ani a Pământului, fără nicio problemă. Diferența constă în faptul că LHC creează aceste coliziuni de înaltă energie în mod intenționat, la cerere şi mult mai frecvent decât razele cosmice. Întreaga comunitate a fizicii particulelor elementare îşi pusese speranțele de descoperire în aceste coliziuni: nu căutau doar bosonul Higgs – piesa lipsă din modelul standard –, ci şi orice altceva pe care natura l-ar putea prezenta şi care s-ar situa dincolo de înțelegerea noastră actuală a fizicii.

De-a lungul circumferinței LHC se află cele patru experimente principale numite ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS), CMS (Compact Miuon Solenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment) şi LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment). Obiectivele lor acoperă aproape toate marile întrebări din fizica particulelor elementare, de la existența materiei întunecate până la motivul pentru care vedem mai multă materie decât antimaterie în jurul nostru.

Construirea LHC şi experimentele sale au fost aventuri destul de diferite. Dacă LHC a fost asigurat în proporție de 80% de CERN, cu o contribuție de aproximativ 20% din partea partenerilor, în cazul experimentelor – care constau în detectoare uriaşe de particule – lucrurile au stat invers. Experimentele au fost construite de colective autonome de oameni de ştiință din întreaga lume, care s-au reunit pentru

a forma mari colaborări internaționale, cu CERN asigurând aproximativ 20% din efort, inclusiv cavernele subterane şi infrastructura.

ATLAS este cel mai apropiat experiment de site-ul principal al CERN din Meyrin, un experiment pe care vizitatorii au uneori ocazia să îl vadă dacă sunt suficient de norocoşi să prindă un tur. Intrarea este o uşă de depozit modestă; vizitatorii înaintează înghesuiți prin sala de mărimea unei catedrale spre o gaură circulară enormă în podea. Dincolo de barieră, nu se vede decât întuneric.

Deasupra se află o macara metalică grea, oțelul său robust folosit pentru a transporta camioane întregi în adâncurile Pământului. Fiecare piesă a experimentului ATLAS a fost coborâtă prin puțuri ca acesta şi asamblată ca o enormă navă construită într-o sticlă şi răcită cu heliu lichid.

Vizitatorii trec printr-o cuşcă metalică albastră, cu aspect industrial, pentru a ajunge la o uşă de lift argintie. Aici, toată lumea trebuie să îşi pună o cască de protecție albastră cu inscripția „CERN”. Urmează coborârea: 100 de metri în jos, în Pământ. Emoția creşte când ieşi din lift pe o pasarelă metalică care zdrăngăneşte sub picioare. După un colț se află un perete care se întinde pe mai multe etaje deasupra şi dedesubt. Numai că nu este un zid, de fapt. Este acoperit de cabluri şi componente electronice şi, în curând, îți dai seama că este o serie de straturi concentrice de tehnologie de detectare. Acesta este detectorul ATLAS.

Cu o lungime de 46 de metri şi un diametru de 25 de metri, este adesea comparat cu dimensiunea unei catedrale, însă cifrele nu te pot pregăti pentru realitatea imensității sale. Vizitatorii încearcă să înțeleagă numeroasele sale straturi, de la detectoarele de pixeli, care oferă urme precise de particule în mijloc, până la camerele de miuoni de la

margine, care captează particulele ce ar putea străbate nedetectate primele straturi.

Vizita continuă pe o scară, urmărind canalul fasciculului, care se îndepărtează printr-un zid cu ecranare din beton. Ajungând în tunelul cu diametrul de 3,8 metri, vizitatorii pot vedea unul dintre magneții supraconductori de 10 metri lungime, vopsit în albastru. Privirea este atrasă de lungimea acestui magnet şi de următorul; dincolo de acesta se află peste 1 500 de aceşti mastodonți într-o buclă de tunel de 27 de kilometri lungime, marele accelerator de hadroni propriu-zis.

Curba cercului este atât de uşoară, încât aparatul pare să se piardă în infinit în depărtare. Văzându-l de aproape, pare şi mai ireal, mai confuz în complexitatea sa.

Când am văzut pentru prima dată ATLAS şi LHC, eram studentă şi mă aflam pe perioada verii la CERN. Lucram la „un sistem de control pentru încălzitoarele sistemului de răcire al detectorului intern ATLAS". Titlul spune totul. Nu era nici pe departe marea provocare de fizică pe care mi-o imaginasem, dar am hotărât rapid că insignifianța proiectului nu conta. Ceea ce conta era că mă aflam acolo, că aveam şansa de a participa la unul dintre cele mai mari experimente construite vreodată. În acest moment, aparatul şi detectoarele sale erau încă în construcție, aşa că am fost trimişi în excursii pentru a vedea direct toate părțile subterane ale experimentului. Acest lucru a fost mult mai interesant decât proiectul meu, până când mi-am dat seama că în codul pe care l-am scris – prost – se afla un mesaj de alarmă care putea fi trimis în lanțul de comandă pentru a opri întregul detector ATLAS. După ce am văzut experimentul la fața locului, proiectul meu a părut brusc mai important.

Până în 2005, douăzeci de ani de muncă au fost însumați de la studenți pe timpul verii, stagiari, personal temporar şi

alte persoane care au contribuit, alături de munca a mii de fizicieni, ingineri şi profesionişti. Dacă unui novice ca mine i se permitea să trimită semnale care puteau opri aparatul, dacă greşelile mele sau programarea proastă puteau distruge întreaga întreprindere, cu siguranţă legile statisticii spuneau că toată această maşinărie gigantică nici măcar nu va porni.

Trei ani mai târziu, în 2008, îi urmăream pe experţii din sala de control de la CERN. Pentru o zi de început, CERN a făcut ceea ce orice organizaţie deschisă şi transparentă ar trebui să facă: a invitat jurnalişti să intre înăuntru pentru a vedea cum maşina prinde viaţă. Ca urmare, Evans a ajuns să povestească pornirea celei mai mari şi mai complexe maşini construite vreodată, sub privirile întregii lumi. O baricadă de bandă i-a separat pe jurnalişti de rândurile de ecrane de calculator dispuse în capsule circulare, fiecare dintre acestea controlând diferite aspecte ale uriaşului experiment. Doar câţiva membri specializaţi ai echipei au fost lăsaţi la comenzi, fiind responsabili de punerea în funcţiune a celui mai mare accelerator din lume. Evans se afla cu aceşti experţi şi păreau, în mod normal, puţin agitaţi.

Ziua a început cu teamă. Peste noapte, câteva dintre sistemele criogenice aproape că aruncaseră un băţ (metaforic) în roţi. Dimineaţa, totul s-a rezolvat şi pornirea a primit undă verde. Evans a supravegheat procesul pe care noi îl numim „îmbinarea fasciculului”, trecând în mod repetat cantităţi mici de fascicul injectat prin miile de magneţi, prin câte o secţiune pe rând, corectând orbita la fiecare încercare, astfel încât protonii următori să rămână centraţi pe canalul fasciculului. La ora 8:56 dimineaţa, ora Marii Britanii, camerele de luat vederi s-au concentrat asupra unuia dintre numeroasele ecrane de computer care arătau sclipiri de la monitoarele de poziţie a fasciculului,

mici semnale electrice de la traiectoria oscilantă a fasciculului în timp ce acesta îşi croia drum printre magneţii din inel, la kilometri distanţă de locul în care se aflau operatorii.

Reporterii spuneau că fasciculul de protoni parcursese mai mult de 6 kilometri în jurul unei secţiuni a inelului. Câteva feţe nelinişţite s-au transformat în zâmbete.

Două minute mai târziu, cu un număr remarcabil de mic de modificări, o altă bucată de fascicul de protoni a parcurs jumătate de drum.

La trei sferturi din drum, douăzeci de minute mai târziu, a ajuns la detectorul ATLAS şi au început să izbucnească aplauze spontane. În fundal, camerele de filmat au auzit unul dintre membrii echipei spunând: „Cred că voi câştiga pariul: o oră". Până la ora 9:24 dimineaţa, au trecut o dată fasciculul în jurul inelului.

Acum, aplauzele au izbucnit de-a binelea. Reuşiseră.

Pentru echipa acceleratorului, era un triumf. Paul Collier – fizicianul britanic care a fost şeful departamentului de acceleratoare de la CERN – a rezumat uşurarea şi epuizarea, spunând: „Mă simt ca şi cum aş fi împins eu însumi particulele pe canal". Totul decursese mult mai uşor şi mai repede decât se aşteptau. Eram înmărmurită; aceşti experţi reuşiseră cumva, în ciuda şanselor de nereuşită, să creeze o maşină care funcţiona minunat, exact aşa cum fusese proiectată.

Dacă imaginea pe care o ai în minte despre un fascicul de protoni este aceea a unei stări de organizare asemănătoare cu cea a unui laser, te asigur că nu este adevărat – în realitate, este mai aproape de formaţiunile dezordonate şi complexe pe care le vedem în stadiile incipiente ale galaxiilor. Particulele din fascicul nu sunt participanţi pasivi la plimbarea lor relativistă şi nici la eventuala lor dispariţie cataclismică. Fiecare proton interacţionează cu toţi ceilalţi şi

cu mediul înconjurător. Fiecare proton din LHC se învârte, trage şi împinge electromagnetic în universul său de 27 de kilometri lungime, formându-se într-unul dintre cele 2 808 mănunchiuri de protoni despărțite la doar 25 de nanosecunde. Câmpuri magnetice şi electrice precise creează aceste galaxii de particule nanoscopice şi le menţin în jurul inelului de 100 000 de ori pe secundă timp de mai multe zile la rând, până când acestea sunt ciocnite între ele. La energia maximă, dacă razele ar devia de la curs sau ar scăpa, ar putea transforma 600 de kilograme de cupru solid într-o baltă de lichid. După cum îți poți imagina, pentru ca toate acestea să funcționeze corect, este nevoie de cele mai strălucite minți, de cele mai avansate simulări pe calculator şi de cea mai bună inginerie care există pe Pământ.

Până la sfârşitul zilei de pornire, Evans şi echipa LHC aveau fascicule care circulau în ambele direcții, iar experimentele, inclusiv CMS şi ATLAS, începuseră să vadă evenimente de împrăştiere a fasciculului – nu de la coliziuni ale fasciculului, ci de la particule de înaltă energie care se ciocnesc de câteva particule de gaz rezidual rămase în camera fasciculului. Unul câte unul, detectoarele au prins viață şi au reacționat, luminându-se cu urme de particule.

Purtătorii de cuvânt ai fiecărui experiment s-au grăbit din camera lor de control până la centrul de control principal (la aproximativ douăzeci de minute de mers cu maşina) pentru a livra sticle de şampanie învelite în printuri grăbite ale primelor urme electronice de la frumoasele lor detectoare.

În următoarele câteva zile, echipele de filmare au plecat, orbitele au fost stabilizate, sistemul final de focalizare conceput pentru a stoarce fasciculul pentru coliziuni a fost pus în funcțiune şi totul a fost pus pe drumul cel bun.

Calea de urmat era accelerarea fasciculului până la un interval de mai mulți TeV înainte de a se îndrepta spre

primele coliziuni. Apoi, la nouă zile după ce a fost pornit, LHC a explodat.

Experții au declarat că a avut loc un „incident grav”. În timp ce creşteau intensitatea magneților – o procedură normală –, una dintre îmbinările supraconductoare dintre doi magneți a avut un scurtcircuit. Acest lucru nu este normal. Firul supraconductor a ieşit din starea de supraconductibilitate, creând o rezistență electrică bruscă la aproximativ un milion de amperi de curent, care a eliberat căldură. Multă căldură. Aceasta a evaporat şase tone de heliu lichid în gaz, extinzându-se atât de mult, încât supapele de eliberare care fuseseră proiectate pentru un astfel de scenariu, pur şi simplu, nu au putut face față.

Explozia a smuls fizic aproape treizeci de magneți, cântărind 35 de tone fiecare, din podea. Când au sosit imaginile din tunel, era un adevărat dezastru. Materialul izolator fusese aruncat în aer, iar resturile contaminaseră kilometri de canale de fascicul. Din fericire, nimeni nu a fost rănit, cu excepția câtorva mii de orgolii.

Au fost necesare nouă luni pentru a recupera aparatul, înlocuind magneții avariați cu piese de schimb, îmbunătățind conexiunile şi mărind fiecare supapă de eliberare, astfel încât un astfel de accident să nu se mai repete. Au analizat cu minuțiozitate toate detaliile pentru a înțelege ce se întâmplase, împărtăşind totul deschis la conferințe. Chiar dacă sincrotroane supraconductoare au mai fost construite înainte, acest incident a scos în evidență una dintre dificultățile pe care le presupune realizarea unui proiect atât de mare şi de dificil: LHC este propriul său prototip.

Reparațiile au fost efectuate cu succes, iar aparatul a fost repornit în 2009, trecând prin etapele de punere în funcțiune şi, în cele din urmă, de creştere până la o energie de 7 TeV în fiecare fascicul. În timpul funcționării, aparatul

s-a dovedit a fi o monstruozitate elegantă, dar operarea lui nu este mai puțin dificilă decât în prima zi. Menținerea fasciculelor pe traiectorie este o sarcină intensă care implică atât sisteme de feedback electronice, cât şi umane. Operatorii trebuie să corecteze în mod regulat efecte incredibil de mici, inclusiv mişcările scoarței terestre datorate Soarelui şi Lunii, cantitatea de apă din lacul Geneva şi momentul trecerii trenurilor rapide TGV, toate acestea afectând orbita protonilor.

În ciuda tuturor acestor lucruri, nu au existat alte incidente majore în mai bine de zece ani.

Pentru a construi LHC, CERN şi colaborările internaționale din spatele fiecăruia dintre experimente au trebuit să creeze sisteme epice de control al calității pentru a se asigura că totul va funcționa fiabil odată ce se află în acel tunel subteran.

Abia când am scris această carte mi-am dat seama că acel cod la care am contribuit când eram studentă trebuie să fi fost transmis unui profesionist, verificat şi perfecționat conform unor standarde riguroase înainte de a avea vreo şansă de a fi utilizat. Întreaga întreprindere LHC este un triumf absolut al managementului de proiect, al ingineriei şi al colaborării.

De atunci, LHC a continuat să funcționeze fără probleme, funcționând fără întreruperi, 24 de ore din 24, 7 zile din 7, împreună cu lanțul său de injectoare – seria de acceleratoare care alimentează LHC cu fascicule. În total, acest sistem enorm livrează două fascicule de sute de miliarde de protoni la 99,999999% din viteza luminii, le concentrează la mai puțin de lățimea unui fir de păr şi apoi le ciocneşte între ele. Şi ce urmează? Fizica, bineînțeles.

În momentul în care LHC a început să funcționeze, modelul standard al fizicii particulelor elementare, „cuprinzătoarea teorie a aproape tuturor lucrurilor, mai

puțin gravitația", era completă în detaliile sale teoretice. După cum am văzut, modelul standard include particulele de materie: „leptonii", inclusiv electronul, miuonul şi tău şi cei trei neutrino corespunzători, precum şi cei şase quarci (up, down, strange, charm, bottom, top). Particulele de materie păreau să vină în trei generații – fiecare generație este aproape identică, cu excepția masei crescânde –, iar experimentele de descoperire şi confirmare a particulelor din cea de-a treia generație de materie au umplut golurile. După cum am văzut în ultimul capitol, quarcul top a fost găsit în 1995, iar neutrinoul tauonic, în 2000, la Fermilab, acestea fiind ultimele particule de materie care au fost descoperite.

Pe lângă particulele de materie, modelul standard conține bosoni sau „purtători de forță". Deocamdată trebuie să ignorăm gravitația, deoarece aceasta nu este inclusă în modelul standard, dar celelalte trei forțe – forța nucleară slabă, forța nucleară tare şi forța electromagnetică – sunt toate incluse. Forța electromagnetică este mediată de foton. Forța tare, care leagă quarcii, protonii şi neutronii între ei, este mediată de gluoni. Forța nucleară slabă este puțin diferită.

Spre deosebire de fotoni şi de gluoni, care nu au masă, bosonii W şi Z descoperiți la CERN în deceniile premergătoare LHC erau, de fapt, extrem de grei. [5] Forța slabă a venit, de asemenea, cu alte câteva subtilități.

La scări de energie înaltă (despre care ştim acum că sunt mai mari de 246 GeV), forța electromagnetică şi forța slabă sunt, de fapt, părți ale unei singure forțe globale, forța electroslabă. Deşi aceste două forțe par foarte diferite la scările energetice obişnuite, la energii foarte mari, cum ar fi cele de la scurt timp după Big Bang (înainte să se formeze quarcii), cele două forțe sunt amestecate una cu cealaltă şi nu pot fi separate. Acest lucru a fost confirmat la CERN cu ajutorul acceleratorului predecesor al LHC, numit Large

Electron Positron collider (LEP), care a supus modelul standard unor teste intensive, ca niciodată până atunci. Acesta este unul dintre motivele pentru care fizicienii se referă uneori la colliderele de particule ca la nişte maşini ale timpului care recreează condiţiile Big Bangului, deoarece acestea pot produce interacţiuni cu energii la fel de mari precum cele întâlnite în Universul timpuriu. Experimentele au concluzionat, de asemenea, că există doar trei tipuri de neutrino şi, în consecinţă, că există doar cele trei generaţii de materie, cel puţin din câte ştim în prezent. Modelul standard părea să fie corect la un nivel incredibil de precizie. Cu toate acestea, rămânea, totuşi, o piesă lipsă: particula teoretică care ar putea conferi masa bosonilor grei W şi Z, cunoscută sub numele de bosonul Higgs.

Această nouă particulă a fost preconizată încă din 1964, în trei lucrări separate, dintre care una a fost scrisă de fizicianul teoretician scoţian Peter Higgs. Teoria postula existenţa unui câmp (câmpul Higgs) în tot spaţiul. La energii înalte (unde forţa „electroslabă" este una dintre forţe), toate particulele sunt lipsite de masă.

La o anumită scară critică de energie, atinsă odată cu răcirea Universului, câmpul Higgs a crescut, iar particulele au început să interacţioneze cu el, dobândind astfel o masă. Acest proces ireversibil este cunoscut sub numele de „rupere spontană a simetriei" şi are drept consecinţă faptul că diferite particule au mase diferite, deoarece au niveluri diferite de interacţiune cu câmpul Higgs.

Ce înseamnă că Universul este plin de un câmp Higgs şi ce efect are acest lucru?

O explicaţie premiată[7] în acest sens este să ne imaginăm o cameră plină de mondeni la o petrecere de băuturi. Dacă o persoană obişnuită intră în cameră, poate traversa petrecerea fără obstacole. Dar imaginează-ţi dacă o persoană celebră intră în cameră. Persoanele mondene –

câmpul Higgs – se adună în jurul persoanei faimoase – o particulă – încetinindu-i înaintarea prin cameră.

O persoană celebră care este încetinită foarte mult este ca o particulă căreia câmpul Higgs îi conferă o masă grea.

Pentru a demonstra că natura se supune cu adevărat acestui mecanism Higgs, fizicienii au fost nevoiți să creeze şi să detecteze particula caracteristică pe care teoria o preconizase, bosonul Higgs: o excitație a câmpului Higgs. Acesta este ca un zvon care se răspândeşte în timpul unei petreceri, determinând mondenii să se adune ciorchine şi să transmită excitația. În acceleratoare, coliziunile de particule cu energie foarte mare pot zdruncina câmpul Higgs. Acest lucru face ca particulele să iasă din câmp – aceştia sunt bosonii Higgs. Singura problemă este că modelul standard nu oferă nicio indicație cu privire la masa bosonului Higgs.

Bosonii Higgs urmau să fie extrem de greu de găsit.

Căutarea bosonului Higgs la CERN începuse deja cu colliderul LEP. După ce celelalte obiective ştiințifice au fost atinse şi Higgs a fost singura piesă a modelului standard care mai trebuia găsită, colaboratorii detectorului LEP şi-au îndreptat atenția către această particulă foarte misterioasă. Chiar înainte de a fi închis, în 2001, toate cele patru experimente au avut indicii tentante ale unui boson Higgs la o masă de aproximativ 114 GeV, dar nu aveau suficiente date pentru a trage concluzii. Se părea că LEP, pur şi simplu, nu avea suficientă energie pentru a crea un boson Higgs, dacă acesta exista cu adevărat. Au fost nevoiți să lase echipa Tevatron de la Fermilab să preia conducerea în căutarea Higgs, dar numai pentru o vreme. Strategia pe termen lung de la CERN a fost întotdeauna aceea de a folosi tunelul creat pentru LEP pentru a asigura viitorul laboratorului în secolul XXI. În 1984, cu cinci ani înainte ca LEP să fie pus în funcțiune, CERN începuse deja să proiecteze următoarea etapă, un collider de protoni cu

protoni de înaltă energie – o maşină de descoperire care îi va duce cu mult dincolo de raza de acțiune de 2 TeV a Tevatronului şi până la o energie a centrului de masă de 14 TeV. Acesta a fost aparatul care a devenit Large Hadron Collider.

Urma să fie nevoie de mult mai multă aparatură decât acceleratorul şi detectoarele pentru a găsi bosonul Higgs. Până la epoca LEP şi LHC – iar acum proiectele durează atât de mult timp pentru a se dezvolta, încât putem vorbi de ere –, fizica particulelor elementare era foarte diferită față de începuturile sale.

Detectoarele erau alcătuite din straturi de subdetectoare specializate, funcționând ca nişte camere digitale gigantice stratificate, cu milioane de canale de informații. Cu mai multe coliziuni decât oricând până atunci şi cu o rezoluție mai mare pentru a detecta resturile rezultate din coliziuni, volumul de date provenite din experimente creştea tot mai mult. Când LEP a început să funcționeze în 1989, datele de calibrare au ajuns rapid la gigabyți, iar datele experimentale, la terabyți. [8] Nu pare mult în prezent, dar în 1989 un hard disk standard avea o capacitate de doar câteva zeci de megabyți. Unde urmau să ajungă toate datele?

Cum le vor accesa oamenii?

Această „problemă de calcul” a devenit un pericol real care trebuia rezolvat.

Întotdeauna în prima linie, CERN şi-a pus în rețea computerele şi mainframe-urile şi a început să comunice prin e-mail (da, chiar înainte de anii 1990!), însă nu exista încă o modalitate de colaborare şi de accesare a datelor în mod fiabil.

În acest moment, Tim Berners-Lee, un absolvent de fizică din Oxford care lucra în domeniul calculului ştiințific la CERN, a propus să reunească noile tehnologii din domeniul

calculatoarelor, rețelelor şi hipertextului într-un sistem care ar putea contribui la rezolvarea acestei provocări. El a scris o scurtă lucrare în care şi-a prezentat ideea intitulată „Managementul informațiilor: o propunere”, pe care şeful său de la CERN a scris „Vagă, dar interesantă”.

Berners-Lee tocmai inventase World Wide Web. Da, acel World Wide Web.

Berners-Lee a propus trei invenții-cheie pe care probabil că le vezi în fiecare zi şi care stau la baza webului: HTML, HyperText Markup Language, care este limbajul de formatare pentru web; URL-urile, Uniform Resource Locators, care sunt adresele unice folosite pentru a accesa fiecare resursă de pe web; şi HTTP, HyperText Transfer Protocol, care este protocolul de comunicare folosit pentru a conecta serverele şi a trimite informații. În 1990, Berners-Lee a publicat primul site web şi a realizat primul browser web. Restul, după cum se spune, este istorie.

În prezent, există peste 1,6 miliarde de site-uri web şi 4,33 miliarde de utilizatori activi în întreaga lume. Adică 57% din totalul populației umane. Utilizatorul mediu petrece zilnic şase ore şi jumătate online, un timp uimitor. Deşi internetul (partea fizică a rețelei) a existat înainte de web, la web ne referim cu adevărat atunci când vorbim despre „utilizarea internetului”.

Este imposibil să se atribuie o valoare webului şi aproape de neconceput să ne imaginăm că ne întoarcem la o epocă în care acesta nu exista. De-a lungul timpului, societatea s-a adaptat, pur şi simplu, la omniprezența existenței sale, dar un exemplu ne-ar putea ajuta să-l punem în context. În 2019, guvernul indian a tăiat accesul la internet în Kashmir în încercarea de a reduce protestele publice.

Chiar şi în această regiune săracă, efectul a fost imens. Studenții care încercau să dea examene online nu au mai putut obține calificări internaționale; comerțul electronic a

fost distrus, iar fabricile care vindeau bunuri au fost întrerupte, deoarece nu puteau comunica cu cumpărătorii; iar spitalele şi farmaciile nu au putut comanda medicamente pentru a trata pacienții. Costul pentru economie în cele nouă luni care au urmat impunerii acestor restricții a fost estimat la 5,3 miliarde de dolari[1], dintr-un PIB total de aproximativ 17 miliarde de dolari.

Interdicția a fost uşor ridicată în 2020, din cauza pandemiei de coronavirus, dar la momentul redactării acestei cărți, nu a fost încă restabilită în totalitate.

Berners-Lee şi-a dat seama foarte devreme că, pentru ca webul să înflorească, va trebui să îl elibereze. După cum spune el însuşi, „nu poți să propui ca un lucru să fie un spațiu universal şi, în acelaşi timp, să păstrezi controlul asupra lui". În aprilie 1993, când existau doar 600 de site-uri web la nivel mondial, CERN a decis să plaseze software-ul World Wide Web în domeniul public, fără redevențe sau brevete.

Webul a fost o consecință complet neaşteptată a fizicii. Nevoile fizicienilor din domeniul particulelor elementare şi felul lor colaborativ de rezolvare a problemelor dificile au făcut ca aceştia să fie nevoiți să partajeze date într-un mod mult mai avansat decât alte domenii ale societății. Prin urmare, a fost nevoie de un singur salt creativ într-un mediu de susținere adecvat pentru a crea una dintre cele mai importante invenții din lumea noastră modernă. În prezent, Berners-Lee este directorul World Wide Web Consortium, care continuă să supravegheze dezvoltarea webului. În 2012, când Londra a găzduit Jocurile Olimpice, în cadrul ceremoniei de deschidere, Berners-Lee a stat la un mic birou şi a transmis în direct pe Twitter cuvintele „THIS IS FOR EVERYONE" (ESTE PENTRU TOATĂ LUMEA), care au luminat scaunele de pe stadion ca un ecran LED uriaş. Paradoxal, comentatorii de la televiziunea americană nu

aveau nicio idee despre cine era şi şi-au încurajat telespectatorii să îl caute pe Google folosind aceeaşi tehnologie inventată de el.

Odată cu LHC, dificultățile pe care CERN le avea cu datele au crescut exponențial. Deşi puterea de calcul şi conectivitatea au crescut, la fel a făcut şi cantitatea de date produse de experimente, ceea ce necesită o inovare constantă.

Se preconiza că producția anuală de date a detectoarelor LHC va fi de aproximativ 90 de petabytes în fiecare an, echivalentul a 56 de milioane de CD-uri – un teanc care ar ajunge până la jumătatea Lunii. Furnizarea întregii puteri de calcul, împreună cu stocarea şi procesarea datelor la CERN, era exclusă – numai costurile cu energia electrică ar fi fost prohibitive. Experții în calcul de la CERN ştiau că, în cele din urmă, seturile de date vor fi, pur şi simplu, prea mari pentru a fi transferate sau gestionate în întregime, deoarece cablurile de cupru care alcătuiesc cea mai mare parte a internetului, pur şi simplu, nu ar fi suficient de rapide.

Drept urmare, aceştia au creat o colaborare internațională pentru a forma o rețea distribuită la nivel global de conexiuni de fibră optică, extrem de rapide şi centre de calcul enorme, care să conecteze oamenii de ştiință din întreaga lume. Numit Woridwide LHC Computing Grid (WLCG), dar căruia îi spuneau simplu „Grid”, acest sistem are peste 200 000 de servere situate în țările colaboratoare din întreaga lume. Acesta poate fi utilizat atât pentru stocarea, cât şi pentru procesarea datelor şi a permis cu succes colaborarea internațională care este esențială pentru succesul CERN.

În ciuda tuturor acestor provocări informatice şi inginereşti, Large Hadron Collider a fost repus în funcțiune în 2009. În scurt timp, acesta a început să ciocnească

fascicule şi să colecteze date de la fiecare dintre experimente, iar disponibilitatea Grid-ului a făcut ca analiza să se intensifice rapid. În fiecare zi, ştafeta era transferată de la un fus orar la altul, iar analiza continua douăzeci şi patru de ore pe zi, undeva în lume. Colegii din Australia puteau accesa şi analiza aceleaşi date LHC pe care le puteau analiza şi fizicienii din Europa, Statele Unite şi din alte părți. Dar ei nu erau singurii aflați pe urmele bosonului Higgs.

În acest moment, Tevatronul se afla în etapa Run II – care începuse în 2001 – şi fusese modernizat cu gândul la Higgs. Fizicienii de la Fermilab ştiau că nu puteau atinge aceleaşi energii la care ajungea LHC, dar sperau să poată găsi primii bosonul Higgs dacă masa acestuia ar fi fost un fel de „Higgs Goldilocks", adică să nu fie nici prea greu (>180 GeV), deoarece atunci nu ar fi putut să-l creeze, şi să nu fie nici prea uşor (<140 GeV), deoarece s-ar fi dezintegrat în quarci bottom şi s-ar fi pierdut în zgomot. Când LHC a început să obțină mai multă energie şi rata de coliziune s-a îmbunătățit, capacitățile lor de găsire a bosonului Higgs au câştigat rapid în fața Tevatronului.

Echipele de la Tevatron au lucrat frenetic la analiza datelor. Până la începutul anului 2011, au reuşit să excludă masele de până la 103 GeV şi între 147 GeV şi 180 GeV cu un grad de încredere de 95%. Doar câteva date suplimentare, se rugau ei, şi ar putea găsi Higgs între aceste două valori. [11] Însă, se anunțau reduceri de buget, iar Tevatronul urma să se închidă în septembrie 2011. Până în iulie, experimentele LHC au exclus intervalul de la 149 GeV la 190 GeV, dar, în septembrie, aflându-se în imposibilitatea de a găsi cele 35 de milioane de dolari pe an de care Fermilab ar avea nevoie pentru a continua să funcționeze, Tevatronul a fost închis. Într-un final adecvat situației, Helen Edwards a supravegheat ceremonia de închidere a

maşinii gigantice pe care muncise atât de mult să o aducă la viaţă cu aproape trei decenii în urmă. Acum toate privirile se îndreptau spre LHC.

Până în decembrie, intervalul Higgs fusese redus la 115–130 GeV, concentrându-se asupra unei zone de la 125 GeV, unde atât ATLAS, cât şi CMS au văzut un indiciu de ceva interesant. Era doar la un nivel de 2-sigma şi nu aveau să uite niciodată OopsLeonul – dar fusese văzut independent de două experimente.

Entuziasmul în rândul comunităţii de fizicieni a fost palpabil.

*

În iulie 2012, după trei ani de funcţionare a LHC şi o perioadă fervent ă de analiză, comunitatea mondială a fizicii particulelor elementare s-a strâns la o conferinţă importantă numită Conferinţa Internaţională în Fizica Energiilor Înalte (ICHEP – Internaţional Conference în High Energy Physics), care a avut loc la Melbourne, Australia. CERN a ţinut o conferinţă de presă de la sediul său de lângă Geneva, transmisă în direct – pe web, desigur – la auditoriul din Melbourne, unde se aflau majoritatea fizicienilor. Eu urmăream transmisiunea din biroul meu de la Laboratorul Rutherford Appleton, puţin mai jos de Oxford, alături de milioane de oameni care au urmărit online în întreaga lume.

Purtătorii de cuvânt ai celor două experimente principale, fizicienii Joseph Incandela din Statele Unite pentru CMS şi Fabiola Gianotti[12] din Italia pentru ATLAS, şi-au făcut prezentările în numele a mii de oameni de ştiinţă. Am fost impresionată de nivelul detaliilor ştiinţifice pe care le-au oferit, în ciuda prezenţei mass-media. În timp ce fiecare dintre ei arătau reconstrucţia diferitelor canale de dezintegrare a bosonului Higgs, mintea mea era blocată de cât de multă muncă se afla în spatele fiecărei diagrame şi cifre prezentate.

În timp ce priveam, mă gândeam la colegii mei pentru care această zi era punctul culminant a zeci de ani de muncă. Unii aveau birouri chiar în capătul coridorului, iar unii erau la celălalt capăt al lumii, în Melbourne. Aceasta a fost munca unor persoane care s-au reunit în echipe mici de aproximativ zece până la cincisprezece cercetători, fiecare dintre ei asumându-şi responsabilitatea pentru propria bucăţică din puzzle. Aceste echipe s-au unit apoi pentru a forma echipe mai mari sau grupuri de lucru cu alte institute, care apoi s-au reunit în colaborarea a aproximativ 2 000 de cercetători pentru fiecare experiment. Cu toţii lucrau împreună într-un sistem de management autoorganizat, care este marca stilului de colaborare de la CERN. În mod neobişnuit, în acea zi au jurat să păstreze secretul, dar ştiam cu toţii ce urma să se întâmple.

După ce s-au încheiat prezentările de fizică, a venit rândul fizicianului german Rolf-Dieter Heuer să urce pe scenă în calitate de director general al CERN. După câteva cuvinte preliminare, acesta a respirat adânc şi a anunţat „avem o descoperire”. Aplauzele au izbucnit, fizicienii s-au îmbrăţişat şi s-au felicitat reciproc. Se mutaseră din ţările lor, îşi dezrădăcinaseră familiile, lucraseră mult timp, la ore neprietenoase, şi se întrebau, în tot acest timp, dacă mai era ceva acolo de descoperit. Acum, reuşiseră. Descoperiseră bosonul Higgs. Camera l-a filmat în prim-plan pe Peter Higgs, în vârstă de 82 de ani, în timp ce o lacrimă îi curgea pe obraz.

Când ne îndepărtăm puţin de acel moment şi ne uităm la tot ce a realizat CERN, numai cooperarea internaţională este uluitoare. Experimentele LHC implică 110 ţări diferite, inclusiv cele douăzeci şi trei de state membre ale CERN şi opt state membre asociate, naţiuni observatoare şi ţări care au încheiat acorduri de cooperare (cum ar fi Australia). Implică aproximativ jumătate din cei 13 000 de fizicieni din

domeniul particulelor elementare din lume. Chiar şi în calitate de om de ştiinţă consacrat, care lucrează în mod regulat în colaborări pe mai multe fusuri orare, îmi este încă dificil să înţeleg cum funcţionează o echipă globală atât de mare. Simplul început, acel prim fascicul, apoi acele prime coliziuni, au reprezentat o performanţă remarcabilă, ca să nu mai vorbim de succesul unei descoperiri majore.

După cum arată exemplul webului, CERN procedează diferit faţă de alte organizaţii mari. CERN este finanţat din banii contribuabililor, aşa că aproape tot ceea ce face are sursă deschisă. Promovează ideile de ştiinţă deschisă, date deschise şi hardware deschis. Chiar şi magazinul de cadouri trebuie să se supună acestei reguli: nu poate face profit. Webul a apărut din aceste principii de partajare şi deschidere, fără a avea nicio idee despre cum va evolua în cele din urmă. Acest aspect unic al felului în care funcţionează CERN nu a fost ratat de factorii de decizie politică şi de organizaţiile internaţionale.

În 2014, CERN a sărbătorit, împreună cu ONU, şaizeci de ani de ştiinţă pentru pace. CERN este un exemplu al felului în care naţiunile pot lucra împreună pentru binele public global. Urmând modelul CERN, o serie de alte proiecte au creat colaborări similare, reunind ţări care depăşesc diferenţe politice profunde.

Centrul SESAME (Synchrotron Light for Experimental Science and Applications în the Middle East) din Iordania reuneşte Bahrain, Cipru, Egipt, Iran, Israel, Iordania, Pakistan, Autoritatea Palestiniană şi Turcia. În sud-estul Europei, SEEIST[13] (South-East European Internaţional Institute for Sustainable Technologies) este un proiect de construire a unei economii bazate pe cunoaştere care se va concentra pe o nouă instalaţie de cercetare şi terapie cu protoni şi ioni de carbon. CERN a contribuit şi la realizarea uneia dintre colaborările mele, STELLA (Smart Technologies

for Extending Lives with Linear Accelerators), în cadrul căreia, împreună cu colaboratori din Africa Subsahariană, ne propunem să îmbunătățim accesul la o îngrijire de înaltă calitate a cancerului la nivel mondial prin găsirea de soluții tehnologice pentru a rezolva problema deficitului grav de instalații de radioterapie.

Aceste tipuri de inițiative şi colaborări sunt esențiale pentru viitorul nostru global. Modelul CERN creează un mecanism de cooperare internațională cu un potențial de neegalat pentru a rezolva provocările globale. În prezent, ONU şi CERN lucrează împreună pentru a învăța cum să creeze colaborări pentru a face progrese în ceea ce priveşte obiectivele de dezvoltare durabilă, multe dintre acestea necesitând soluții ştiințifice şi tehnologice, inclusiv abordarea încălzirii globale, a asistenței medicale şi a accesului la hrană şi apă.

CERN nu ar putea avea în niciun caz impactul pe care îl are dacă ar fi un grup de experți sau o companie dintr-o singură țară, concepută pentru a crea brevete tehnologice. Acelaşi etos care a creat webul a generat şi un efort uriaş pentru a încuraja cercetarea ştiințifică şi pentru a face ca rezultatele acesteia să fie mai deschise publicului.

Bineînțeles, webul nu este singura tehnologie rezultată de la CERN. Pentru cele cu potențial comercial, există o întreagă echipă de transfer de cunoştințe care le dezvoltă. Oricine poate consulta online portofoliul tehnologic curent de la CERN[14], iar câteva exemple actuale includ sisteme software în colaborare, detectoare rezistente la radiații utilizate în medicină şi un sistem orbital compact pentru tăierea unor bucăți uriaşe de țeavă pe teren. Cerințele unice ale experimentelor de mare amploare ale CERN au împins continuu industria să inoveze pentru a furniza componente de ultimă generație. Într-un sondaj, 75% dintre furnizorii CERN au declarat că şi-au sporit capacitatea de inovare prin

încheierea de contracte cu CERN. De asemenea, se vorbeşte despre „efectul CERN”, prin care cifra de afaceri a unei companii creşte cu 4 dolari pentru fiecare dolar din contractele de furnizare CERN pe care le încheie. [15]

Mi-ar fi imposibil să includ toate tehnologiile care au decurs din evoluțiile recente în domeniul fizicii particulelor elementare, dar una dintre ele este important de menționat, deoarece completează setul de tehnologii de diagnosticare medicală. Pe lângă scanerele de tomografie computerizată (capitolul 1) şi RMN (capitolul 11), fizica particulelor elementare a avut un rol esențial în dezvoltarea scanerelor PET (tomografie cu emisie de pozitroni). Nu numai că PET utilizează direct pozitroni (antimaterie), dar tehnologia sa de detectare provine din dezvoltarea cristalelor de oxid de bismut şi germaniu (BGO) utilizate pentru a detecta „duşurile” de particule. Peste 1 500 de scanere PET au fost construite cu aceste cristale, la un cost cuprins între 250 000 şi 600 000 de dolari pe scaner. În timpul erei LHC, a fost nevoie de cristale noi pentru a rezista la daunele provocate de radiațiile cauzate de rata uriaşă de coliziune, ceea ce a dus la apariția unui nou tip de cristal, numit cristal LYSO.

Aceste noi cristale au un timp de răspuns mai rapid şi produc de trei ori mai multă lumină decât cristalele BGO. Ele reprezintă acum standardul industriei pentru scanerele PET. Echipa de transfer de cunoştințe de la CERN s-a asigurat că acest lucru s-a întâmplat chiar înainte ca tehnologia să fie utilizată în LHC, unde abia acum este încorporată în detectoarele pentru programul LHC modernizat.

Va avea vreuna dintre tehnologiile actuale din portofoliul CERN un impact precum cel pe care l-a avut webul? Este imposibil de spus. Rețeaua de calcul LHC nu a avut încă acelaşi impact în viața de zi cu zi, dar este deja utilizată pe

scară largă în afara fizicii particulelor elementare. A oferit acces la o putere de calcul mai mare decât oricând în alte domenii ştiinţifice. Chiar şi în primele sale zile, reţeaua a permis conceperea de noi medicamente împotriva malariei şi analiza a 140 de milioane de compuşi chimici – o sarcină pentru care un computer standard ar fi avut nevoie de 420 de ani. Infrastructura CERN şi baza de cunoştinţe partajate în mod deschis ajută şi alţi oameni de ştiinţă să intre pe tărâmul Big Data, creând modalităţi complet noi de lucru în alte domenii.

Această trecere la resurse partajate a devenit acum un fenomen cotidian.

Companiile din întreaga lume au adoptat aceeaşi abordare de a construi arhive mari de date, sau nori, în care datele sunt stocate şi accesate pe servere la distanţă, şi nu mai sunt stocate pe computerul tău local. Dacă foloseşti servicii cloud precum Google Docs, Dropbox sau altele, toate sunt construite într-un mod similar. Diferenţa dintre sistemele cloud comerciale şi sistemul Grid de la CERN este locul în care sunt stocate datele. Calculul de tip Grid înseamnă că stocarea datelor şi puterea de calcul sunt distribuite pe mai multe computere diferite, în loc să fie stocate în arhive mari de servere cloud deţinute de corporaţii. În prezent, pe măsură ce utilizatorii devin din ce în ce mai frustraţi de faptul că datele lor sunt blocate de companii individuale – gândiţi-vă la formatele. Docx sau. Xlxs brevetate de Microsoft sau la colecţiile de muzică iTunes de la Apple –, aspectele tehnologiei Grid sunt adoptate din ce în ce mai des ca soluţii la provocările ce ţin de cloud computing. Un obiectiv cheie în acest caz este interoperabilitatea: capacitatea de a face posibilă portarea deschisă între sisteme. [1] Acest lucru este în mare parte în spiritul CERN şi al creării webului de către Berners-Lee. Un fel de sistem optim de cloud-grid ar putea, în cele din urmă,

să-i ajute şi pe fizicienii de particule: ar putea depăşi limitele de volum ale sistemelor cloud şi le-ar permite fizicienilor să folosească, pur şi simplu, o infrastructură publică bine întreținută.

Încă nu am terminat cu modurile în care Large Hadron Collider a influențat lumea modernă, deoarece nu am discutat despre cel mai mare impact al acestui experiment: formarea de oameni foarte talentați. LHC şi detectoarele sale sunt o megaştiință internațională, inspirațională. Multe dintre cele mai bune şi mai strălucite minți tinere din întreaga lume se alătură fizicii datorită unor proiecte mari ca acesta, iar mii dintre ele fac doctoratele în acest domeniu. Ar fi neglijent din partea mea să nu abordez întrebarea: „Ce se întâmplă după aceea?" Poate părea că drumul lor înainte ar trebui să fie clar, dar acest lucru nu ar putea fi mai departe de adevăr.

În unele domenii ale fizicii, există peste o sută de candidați pentru fiecare loc de muncă pentru postdoctoranzi. După aceasta, există şi mai puține posturi academice sau locuri de muncă permanente în marile laboratoare. În timp, majoritatea acestor oameni cu o pregătire şi competențe înalte se confruntă cu o decizie extrem de dificilă: să rămână sau să plece. Specializarea profundă aduce provocări unice, iar cercetătorii care ajung la finalul contractelor pe termen scurt nu au adesea altă opțiune decât să se mute din nou în țară pentru puținele locuri de muncă disponibile sau să se orienteze către alte meserii. Acest lucru ar putea fi în regulă pentru persoanele care dispun de mijloacele financiare necesare pentru a aştepta următorul post potrivit să apară, dar pentru mulți – inclusiv pentru mine – acest lucru nu a fost posibil.

Personal, m-am confruntat cu această prăpastie de mai multe ori în cariera mea.

Ştiu, de asemenea, din experienţele multor prieteni apropiaţi şi colegi, că nu am fost singura care a simţit o presiune emoţională extraordinar de grea atunci când am fost forţată să mă gândesc să las în urmă cercetarea în domeniul fizicii motivată de curiozitatea de ansamblu pe care o iubeam atât de mult. Însă, acest lucru m-a forţat şi să mă gândesc la numeroasele aptitudini pe care le am şi pe care le-aş putea aplica în altă parte. Aveam competenţe în ştiinţa datelor, în rezolvarea problemelor, în vorbitul în public şi în scris. Aveam competenţe experimentale care ar putea fi folosite în industrie şi o capacitate demonstrată de a duce la bun sfârşit proiecte pe termen lung. Am început să îmi refac CV-ul şi să mă uit pe site-urile de joburi. Cu timpul, m-am gândit că aş putea prospera într-o companie startup, în domeniul elaborării de politici sau în cel al consultanţei.

Mi-am dat seama că aş putea, de fapt, să fac oricare dintre aceste lucruri, să mă bucur de ele şi să am un impact în lume. M-am împăcat cu miile de alte lucruri, mai bine plătite, la care m-aş fi priceput.

Este ceva bine cunoscut că majoritatea persoanelor cu doctorate în fizică vor sfârşi prin a părăsi cercetarea academică. Un raport care a chestionat 2 700 de foşti cercetători CERN a constatat că 63% dintre aceştia lucrează în sectorul privat în domenii precum tehnologii avansate, finanţe şi IT. Competenţele pe care aceştia le aduc sunt extrem de căutate în aceste sectoare, competenţe precum rezolvarea problemelor, programarea, analiza datelor la scară largă, comunicarea ştiinţifică şi colaborarea internaţională. Numai în Marea Britanie, există un deficit de competenţe în aşa-numitele „STEM” (ştiinţă, tehnologie, inginerie şi matematică) de 173 000 de persoane, în ciuda faptului că Marea Britanie are reputaţia de lider mondial în domeniul ştiinţei şi tehnologiei. [17]

Nevoia pentru acest tip de talente nu va face decât să crească.

Când am început să caut poveşti ale unor fizicieni din domeniul particulelor elementare care şi-au folosit competențele în alte domenii, nu a trebuit să merg prea departe pentru a găsi nişte inovatori incredibili. Să luăm exemplul Elinei Berglund, un fizician cu doctorat implicat în căutarea bosonului Higgs la CERN.

Ea şi-a dat seama că există o mare lipsă de cunoştințe despre ciclurile de reproducere ale femeilor, aşa că a început să-şi urmărească datele despre corp, inclusiv temperatura. În scurt timp, şi-a dat seama că îşi poate aplica competențele în domeniul statisticii şi al analizei de date pentru a şti când este fertilă şi s-a gândit că ideea ar putea ajuta şi alte femei care doresc o modalitate naturală de a-şi gestiona ciclurile hormonale. Rezultatul a fost aplicația Natural Cycles, care are acum peste 1,5 milioane de utilizatori din întreaga lume.

Începând cu 2020, aceasta este singura aplicație care are aprobarea Administrației Alimentelor şi Medicamentelor din SUA (FDA) pentru a fi folosită ca mijloc de contracepție – o tehnologie care schimbă viața multor femei.

În prezent, există o cale demonstrată de la fizica particulelor elementare şi alte domenii de cercetare din fizică, motivate de curiozitate, către startupuri de înaltă tehnologie şi, în special, către Silicon Valley. Nu doar salariul mai mare îi atrage pe fizicieni spre aceste locuri de muncă; există şi o varietate aproape infinită de probleme de rezolvat odată ce aceştia privesc dincolo de limitele domeniului lor de competență original. În special în SUA, drumul de la programele de doctorat în fizică către Silicon Valley este acum atât de bine parcurs şi atât de bine finanțat în comparație cu cercetarea academică, încât fizicii îi poate fi greu să îşi păstreze cei mai buni absolvenți.

Când a sosit momentul meu în care trebuia să hotărăsc dacă rămân sau plec, la câțiva ani după ce mi-am terminat doctoratul, am decis că singurul mod în care aş putea rămâne în fizică ar fi în propriile mele condiții. Nu puteam schimba problemele externe legate de contractele pe termen scurt, de salariu sau de finanțare, dar puteam să-mi controlez propriul mediu. Mi-am petrecut timpul construind o comunitate de fizicieni cu mentalități similare, în special femei, astfel încât să văd în jurul meu oameni care erau ca mine şi, în consecință, să mă simt mai puțin izolată. Am învățat să cer ceea ce aveam nevoie, ceea ce m-a încurajat să intru în birourile liderilor din domeniul meu şi să le cer să-mi sprijine cercetarea – odată, am cerut chiar să mi se creeze propriul meu loc de muncă. A dat roade. Am decis să lucrez la lucruri care mă pasionau, cum ar fi implicarea publicului şi îmbunătățirea culturii cercetării, în paralel cu cercetarea mea, chiar dacă asta însemna să mă împotrivesc unui sistem care spunea că nu ar trebui să „pierd timpul" cu asemenea aspecte. Nu a fost o misiune de o singură femeie pentru a schimba fizica – asta ar fi o misiune nebunească –, dar am lucrat pentru a crea un mediu în care să mă simt productivă, bine-venită şi mulțumită. Ştiam că, dacă nu va funcționa, puteam să plec liniştită.

În cele din urmă, am rămas. Împreună cu colegii mei, am construit un nou laborator de la zero pentru un mic experiment care utilizează o capcană de ioni pentru a imita acceleratoarele de particule. Încercam să înțeleg cum se vor comporta fasciculele de particule în viitoarele collidere. Am angajat primul meu doctorand şi am pus în funcțiune echipamentul. Nu mai construisem niciodată un experiment de la zero şi a fost o curbă de învățare uriaşă. Nu-mi venea să cred câte lucruri au mers prost sau cât de mult timp a durat implementarea unor piese.

Într-o după-amiază, la doi ani după ce am decis să rămân, remediam nişte probleme legate de zgomotul electronic şi de împământare, când am văzut pentru prima dată o mică denivelare apărând deasupra zgomotului pe ecranul osciloscopului. Prindeam ionii pe care îi extrăgeam: prima noastră piatră de hotar importantă. În acea după-amiază, am primit permisiunea specială de a deschide şampania în laborator şi am băut-o din pahare de plastic. Nu a fost chiar o realizare la nivelul bosonului Higgs, dar, totuşi, abia îmi venea să cred.

Experimentul nostru a funcționat.

Privind în urmă la această perioadă, ceea ce mă frapează cel mai mult este cât de norocoasă am fost să am în jurul meu oameni extraordinari, nu doar într-o perioadă atât de dificilă a carierei mele, ci pe tot parcursul călătoriei, de la primii mei profesori, la mentorii de pe parcurs, la sprijinul neclintit al coordonatorului meu de doctorat, la colegii mei şi la oamenii despre care am aflat mai târziu că mă susținuseră fără ca eu să ştiu. Fizica, am învățat, este mult mai mult decât căutarea felului în care funcționează Universul şi tot ce se află în el. Aceasta este doar marea întrebare în jurul căreia ne raliem. Fizica este despre oameni. Pare evident când o spun aşa, nu-i aşa?

*

Nicăieri nu este mai clar decât în povestea incredibilă despre LHC, în care peste 10 000 de oameni de ştiință au învățat cum să lucreze împreună pentru un obiectiv comun, motivați doar de curiozitate. Numai această performanță merită din plin investiția. Dar, bineînțeles, această poveste nu se încheie cu bosonul Higgs. Fizicienii de la LHC continuă să muncească din greu în fiecare zi – la fel ca noi toți – deoarece, cu noi date, noi idei şi noi experimente mari sau mici, putem pune noi întrebări, apropiindu-ne puțin

mai mult de răspunsuri şi continuând să facem progrese în încercarea noastră de a înțelege totul.

Până în prezent, LHC a produs o mulțime de rezultate interesante, care ne îndeamnă la reflecție, deşi niciunul nu este atât de important precum descoperirea bosonului Higgs. În fiecare zi apar noi rezultate: în ultimii zece ani, LHC a descoperit peste cincizeci de noi hadroni – particule compuse din quarci – care ne testează în continuare cunoştințele despre forța tare. Unele dintre acestea au fost chiar prezise în teoriile lui Gell-Mann, dar nu au putut fi obținute până de curând. Fizicienii de la LHC au descoperit în prezent multe particule formate din patru quarci (tetraquarci) sau cinci quarci (pentaquarci) unite între ele şi încă mai încearcă să afle detaliile legate de felul în care funcționează acestea. Natura continuă să furnizeze noi particule din belşug, dar toate acestea sunt acoperite de modelul standard al fizicii particulelor elementare.

În timp ce aceste noi particule au ciudățenii care ajută la rafinarea Modelului Standard, până acum marile speranțe că vom găsi noi particule exotice în intervalul de energie al LHC nu s-au concretizat. Într-un fel, acesta este un lucru pozitiv: eliminăm teorii într-un ritm poate nemaivăzut până acum în istoria fizicii. Acest lucru deschide potențialul pentru noi idei creative şi oferă noi domenii de interes. Când îi întreb pe colegii mei din fizica experimentală a particulelor dacă sunt dezamăgiți de acest lucru – deoarece mulți dintre ei sperau atât de mult să găsească noi particule exotice pe care teoreticienii le preziceau dincolo de modelul standard –, majoritatea sunt surprinzător de optimişti. La urma urmei, ei caută ceea ce este real, indiferent de teoriile lor preferate. Munca lor grea constă acum în a analiza cantitatea enormă de date produse la LHC pentru a vedea ce secrete ne rezervă natura.

Să nu crezi însă că noi nu facem altceva decât să completăm detaliile sau că drumul fizicii este aproape finalizat şi că toate lucrurile importante au fost descoperite. Mai mult ca sigur că nu este aşa. Încă o dată, trebuie să privim lacunele. În ciuda succesului incredibil al modelului standard, ecuațiile noastre nu pot reconcilia gravitația cu toate celelalte forțe. Nu ştim dacă există un singur Univers sau dacă trăim într-un aşa-numit „multivers". Ştim că neutrinii au masă şi îşi pot schimba forma, dar nimeni nu ştie de ce. [18] Nu ştim de ce suntem înconjurați de materie, şi nu de antimaterie. Nu cunoaştem natura materiei întunecate răspândite în tot Universul nostru. În multe privințe, bosonul Higgs este doar începutul.

Capitolul 13

Experimente viitoare

În fiecare an, aproximativ 500 de fizicieni şi ingineri se reunesc la Conferința internațională despre acceleratoare de particule pentru a-şi împărtăşi activitatea.

Proiectele lor variază de la propuneri de collidere cu o lungime de 100 de kilometri până la cele mai mici acceleratoare industriale. Conferința îşi schimbă locul de desfăşurare în fiecare an între Asia, America şi Europa, iar în mai 2019, a avut loc pentru prima dată în Australia, la Melbourne. Am avut onoarea de a fi invitată să țin discursul de deschidere în plen.

Înainte de conferință, îmi băteam capul cu ce să spun. Nu era vorba de cât de numeros era publicul. Vorbisem în fața unor grupuri mai mari şi ştiam cum să mă descurc cu acele emoții. Mai degrabă, cunoştințele de specialitate ale publicului mă puneau pe gânduri. Aceasta era de departe cea mai importantă conferință pe care mi s-a cerut să o țin

în domeniul meu. Puteam să urmez precedentul creat de alții şi să ofer o prezentare generală de specialitate a stadiului domeniului nostru, cu o mulțime de detalii tehnice despre acceleratoarele de particule. Cu toate acestea, cumva, când am început să scriu discursul, a ieşit ceva cu totul diferit.

Am început să scriu doar pentru a-mi scoate gândurile din minte. Am scris nu despre detaliile fizicii, ci despre aspectele mai umane ale domeniului nostru, despre lucrul împreună, despre cum am ajuns unde suntem astăzi şi despre lecțiile pe care le-am învățat. Am scris despre cultura de cercetare şi despre cum putem lucra împreună pentru a aborda provocările cu care ne vom confrunta în viitor. Pe măsură ce gândurile mele se dezvoltau, mi-am dat seama încet-încet că nu aveam de gând să rescriu acest discurs. A fost un risc profesional uriaş.

Fizicienii vorbesc despre fizică la conferințe, nu despre oameni. Cum ar fi dacă aş pierde respectul comunității mele lăsând la o parte cunoştințele de specialitate şi aducând în schimb această poveste? În calitate de membru al corpului profesoral al facultății, nou angajat, riscam mult.

În ziua prezentării, mi-am ocupat emoționată locul în fața sălii, l-am salutat pe ministrul administrației locale şi am aşteptat ca preşedintele conferinței să mă prezinte. Diapozitivele mele erau deja încărcate. Am închis ochii şi m-am concentrat asupra respirației mele. Când a venit momentul, am urcat treptele pe scenă şi m-am întors cu fața la public. Sub strălucirea luminilor mi-am putut vedea colaboratorii din Europa, Japonia, Statele Unite şi Australia, de la directori de laborator, pe care îi cunoşteam doar după reputație, până la colegii cu care îmi petrecusem turele de noapte mâncând pizza. Undeva acolo se aflau şi noii mei studenți de la Universitatea din Melbourne, care nu mă mai

auziseră niciodată vorbind. Am respirat adânc şi am început.

Le-am spus ce învățasem în această călătorie prin douăsprezece experimente din domeniul nostru. Organizatorii îmi ceruseră să reflectez asupra realizărilor noastre din trecut, dar şi să vorbesc despre unde ne-ar putea duce viitorul. Aşa că am început cu gândurile mele despre poziția noastră actuală în această călătorie inspirată, cu o viziune de ansamblu, care se întinde în tot Universul, pentru a înțelege lumea noastră.

Nu mă pot abține să nu fac o paralelă între locul în care am început această călătorie la sfârşitul secolului al XIX-lea şi unde ne aflăm în domeniul fizicii particulelor elementare la intrarea în cel de-al treilea deceniu al secolului XXI.

Poate că ne aflăm în pragul unei perioade de transformare la fel de uriaşe precum cea a descoperirii nucleului, a electronului şi a întregii lumi subatomice şi cuantice. Suntem în căutarea unei versiuni din secolul XXI a momentului în care Röntgen a văzut o strălucire verde pe un ecran din laboratorul său sau a uimirii lui Rutherford în fața particulelor care ricoşează direct dintr-o folie subțire de aur. Cu siguranță va apărea printre datele complexe de pe un computer, mai degrabă decât ca o strălucire pe un ecran, dar esența este aceeaşi. Căutăm ceva care să ne facă să spunem „hmm... ce ciudat”. Dar nu putem, pur şi simplu, să aşteptăm ca aceste lucruri să apară.

Descoperirile nu au fost niciodată în întregime întâmplătoare. Oamenii fac descoperiri! Doar prin sprijinirea celor care vor să încerce să construiască experimente pentru a testa natura putem ajunge la următoarea etapă a înțelegerii noastre. Din fericire, această călătorie este deja în plină desfăşurare. Mii de oameni de ştiință din întreaga lume – inclusiv mulți dintre cei care se aflau în publicul conferinței mele – planifică, construiesc şi modernizează

deja experimente mici şi mari. Curiozitatea îi duce la limita a ceea ce este posibil din punct de vedere tehnologic şi dincolo de ea.

Multe dintre experimentele propuse pentru următoarea generație sunt experimente de mare anvergură, în colaborare, şi asta din motive întemeiate.

Marile întrebări pe care ni le punem acum – Care este natura materiei întunecate? De ce există o asimetrie între materie şi antimaterie în Univers?

Există o mare teorie unificată care poate descrie totul în fizică? — nu mai pot fi rezolvate de un individ sau de o echipă mică ce lucrează izolat. Întrebările au devenit prea mari pentru asta. Prin urmare, experimentele de care avem nevoie pentru a răspunde la aceste întrebări vor fi, aproape sigur, şi ele mari şi complexe.

Profesoara Daniela Bortoletto, şefa catedrei de fizică a particulelor elementare de la Oxford, prezintă succint situația din acest domeniu: „Particulele din modelul standard reprezintă doar aproximativ 5% din conținutul de materie-energie al universului. Restul de 95% din univers este compus din ceea ce nu cunoaştem: materie întunecată şi energie întunecată. Deoarece nu avem nicio dovadă experimentală care să ne indice originea sectorului întunecat, cred că cea mai bună modalitate de a face progrese este prin studii de precizie ale bosonului Higgs”.

Încercând să descopere natura bosonului Higgs, Bortoletto şi colegii săi doreau să afle dacă bosonul Higgs încalcă legile cunoscute ale fizicii. Poate că există mai multe particule Higgs diferite care acționează în moduri ciudate. Dacă există, sau dacă Higgs se dezintegrează sau interacționează în moduri neaşteptate, vom fi găsit o deficiență sau o lacună de cunoaştere în inima modelului standard.

Fizicienii nu se mai întreabă „există materie întunecată?” (noi credem că există), ci „care este natura materiei întunecate?” Dacă progresul necesită atât teorie, cât şi experiment, materia întunecată prezintă o provocare experimentală unică. Nu ducem lipsă de teorii care pot descrie materia întunecată, însă singurul lucru pe care îl ştim cu siguranță despre ea este că nu interacționează. Am putea observa materia întunecată observând această lipsă de interacțiune ca „energie lipsă”, fie la LHC, fie în viitoarele coliderе. Ideea aminteşte de felul în care misterul dezintegrării beta ne-a condus la neutrini, dar, dacă neutrinii aveau o teorie care i-a ajutat pe experimentatori să îi găsească, nu avem aşa ceva pentru materia întunecată: suntem conduşi de datele experimentale. Cu 95% din masa Universului încă nedetectată, miza este uriaşă.

Investigarea acestor întrebări necesită o „fabrică Higgs” – un nou collider de particule care să poată produce mii şi mii de bosoni Higgs, împreună cu inventarea unei noi generații de detectoare de particule de precizie, aspect pe care Bortoletto se concentrează. LHC nu poate oferi toate răspunsurile cu privire la adevărata natură a bosonului Higgs, astfel încât aproape toți cei din domeniu sunt de acord că o fabrică Higgs ar trebui să fie un collider de electroni-pozitroni de înaltă energie, cu o energie de coliziune cât mai apropiată de 1 TeV. Ceea ce nu s-a convenit încă este forma maşinii – liniară sau circulară – sau tehnologia pe care se bazează. Este probabil să existe un singur collider de electroni-pozitroni construit ca o fabrică Higgs, aşa că trebuie să alegem cu băgare de seamă pe care să îl construim.

Acceleratorul liniar internațional (ILC – Internațional Linear Collider), cu o lungime de 30 de kilometri, este acum gata să fie construit în Japonia, dacă guvernele cad de acord să înceapă – o fază de „prelaborator” a fost aprobată în

2021. Colliderul liniar compact (Compact Linear Collider) la care CERN lucrează de douăzeci de ani este o altă opțiune. [1] Cele două proiecte colaborează deja în cadrul acordului Linear Collider Collaboration, colaborare condusă în prezent de fostul manager de proiect LHC, Lyn Evans. Alternativ, următoarea mare instalație ar putea fi un accelerator circular, cu o circumferință de 100 de kilometri, luat în considerare la CERN (Future Circular Collider, FEC) şi în China (Circular Electron Positron Collider, CEPC), unde, pe lângă coliziunile de înaltă energie între electroni şi pozitroni, fasciculele de înaltă energie vor emite 50 MW de radiații sincrotronice nedorite – aşa cum am văzut în capitolul 7 – toată ziua, în fiecare zi, când se deplasează în jurul inelului. Trebuie să proiectăm şi să pregătim aceste coliziuni acum, astfel încât unul dintre ele să fie gata pentru momentul în care LHC îşi va încheia activitatea, în jurul anului 2036.

Directorul Institutului John Adams pentru Ştiința Acceleratoarelor, profesorul Philip Burrows, consideră că versiunea liniară, şi în special ILC, este cel mai matur proiect şi cel mai probabil să ne ducă la o fabrică Higgs cât mai curând.

Spre deosebire de designul circular, acceleratorul liniar poate fi modernizat în viitor prin simpla extindere a lungimii sale. Acest lucru i-ar creşte raza de acțiune energetică în cazul în care încep să apară particule de materie întunecată, particule supersimetrice – de la o teorie care prevede că toate particulele de materie au un partener „supersimetric” mai greu – sau alte particule dincolo de modelul standard. Între timp, Bortoletto subliniază că opțiunea de coliziune liniară nu permite o actualizare ulterioară la un collider de protoni cu protoni, în timp ce investiția într-un tunel circular înseamnă că acesta poate fi reutilizat, aşa cum LHC a reutilizat tunelul LEP. Decizia va depinde atât de politică, costuri şi colaborare, cât şi de fizică. Oricare dintre ele va fi

construită, Bortoletto şi Burrows (sau poate studenţii lor până atunci!) vor fi acolo, pregătiţi.

Pe termen mai lung, atingerea unor energii din ce în ce mai mari depinde de acceleratoarele de particule, care trebuie să devină din ce în ce mai mari, în ciuda progreselor înregistrate în domeniul magneţilor supraconductori şi al tehnologiei de radiofrecvenţă. În timp ce unii cercetători propun construirea de experimente pe Lună sau în spaţiu, o descoperire în domeniul fizicii plasmei ne-ar putea permite să micşorăm acceleratoarele de cel puţin o mie de ori. Materialele din care fabricăm cavităţile de radiofrecvenţă ale acceleratoarelor de particule – cuprul şi materialele supraconductoare – pot susţine doar o anumită intensitate a câmpului electric înainte de a produce scântei sau de a se strica. Asta stabileşte o limită fizică pentru cât de tare putem accelera particulele, ceea ce, la rândul său, determină lungimea totală a acceleratorului. Echipe de colegi de-ai mei de la Oxford şi de la Imperial College din Londra, împreună cu mulţi alţii din întreaga lume, încearcă, în schimb, să realizeze acceleratoare cu plasmă.

Ideea este de a folosi un laser de mare putere – sau chiar un alt fascicul de particule[2] – pentru a genera o plasmă, o stare a materiei în care atomii sunt deja ionizaţi. O plasmă poate susţine câmpuri electrice enorme, în care electronii sau alte particule se pot deplasa şi pot obţine astfel energie. Acest lucru a fost demonstrat în laborator şi s-a reuşit astfel accelerarea de particule, dar nu este încă pregătit pentru a fi utilizat în cadrul unui experiment de fizică a particulelor.

Obţinerea unor fascicule de înaltă calitate la cerere şi controlul acestora va mai dura câţiva ani.

Deşi acceleratoarele cu plasmă sunt abia la început, domeniul este cu siguranţă interesant. Întotdeauna le spun studenţilor mei că, odată ce acceleratoarele cu plasmă vor fi suficient de avansate, îmi voi schimba bucuroasă domeniul

şi voi începe să le proiectez pe acestea în schimb. În momentul de față, cred că vor fi utilizate în tandem cu tehnologiile noastre mai convenționale, mai degrabă decât ca înlocuitor, aşa că încep să mă gândesc la modalități de a le combina pe cele două.

Descoperirile nu sunt în niciun caz suspendate cât inventăm aceste viitoare coliderе. LHC continuă să fie modernizat pentru a furniza din ce în ce mai multe date. Ştim deja că modelul standard este inerent eronat: nu conține gravitația. Nu poate explica de ce există mai multă materie decât antimaterie în Univers. Nu include materia întunecată sau energia întunecată. De asemenea, nu explică de ce neutrinii au masă. Trebuie să mai fie ceva ce ne scapă.

Ar fi naiv să credem că răspunsurile la aceste întrebări vor veni în mod necesar de la colliderele de particule. Un alt domeniu al fizicii ar putea produce rezultate care să faciliteze următoarea mare descoperire. Experimentele mai mici, axate pe întrebări mai specifice, pot ajunge primele la răspunsuri, iar rezultatele lor ar putea fi doar probate în coliderе. Un exemplu sunt detectoarele construite în întreaga lume pentru a căuta materia întunecată. În Australia, primul experiment privind materia întunecată din emisfera sudică este în curs de construcție în Laboratorul de Fizică Subterană Stawell (SUPL – Stawell Underground Physics Laboratory), situat la kilometri sub pământ, într-o fostă mină de aur.

Colegii mei de la Conferința internațională despre acceleratoare de particule cunoşteau bine toate aceste proiecte. Acesta este motivul pentru care am decis să vorbesc despre felul în care domeniul nostru nu numai că a sporit cunoştințele noastre în domeniul fizicii particulelor elementare, dar a dus şi la schimbări în societate. Cele douăsprezece experimente pe care le-am descris în această carte ne propun lecții despre cum să procedăm în

continuare. Poveştile de la Brookhaven, Fermilab şi CERN, precum şi căutarea de cunoştinţe despre realitatea invizibilă a materiei şi a forţelor, ne pot oferi o perspectivă asupra felului în care să gestionăm necunoscutele cu care ne confruntăm în prezent şi în viitor.

Când i-am întrebat pe colegii mei ce cred că poate învăţa societatea din această aventură a fizicii particulelor elementare, mă aşteptam la o serie de răspunsuri diferite. Dar m-am înşelat – toţi au spus acelaşi lucru: putem învăţa cum să colaborăm. Întreprinderile complexe, precum fizica particulelor elementare, ne determină să inovăm, să încercăm – aşa cum vor face întotdeauna oamenii – să creăm ordine, să înţelegem, să avem cunoştinţe şi să căutăm înţelepciunea.

Totul se reduce la nevoia nestăvilită pe care se pare că o avem de a păşi continuu în necunoscut. Ne străduim să realizăm mai mult, mai bine şi, deşi resursele noastre fizice pot fi limitate, capacitatea noastră umană de a genera idei noi este aproape nelimitată. Prin colaborare şi prin noi modalităţi de lucru, putem realiza această capacitate şi încuraja creativitatea cum nu a fost posibil niciodată până acum.

Când mă gândesc la ce anume face ca lumea noastră să fie „modernă", am în minte un sens global. Mă gândesc la progresul enorm pe care societatea l-a făcut pe aproape toate fronturile. Noile invenţii au dus la o creştere a productivităţii, astfel încât bunurile sunt mai puţin rare. Creşterea a dus la o economie cu sumă pozitivă. Există mai mulţi oameni pe Pământ, iar aceştia duc o viaţă mai bună ca niciodată. Tot mai mulţi oameni primesc educaţie şi se alfabetizează. În 1930, doar 30% dintre persoanele cu vârsta de peste 15 ani ştiau să scrie şi să citească, iar acum această cifră este de 86% la nivel global. Din 1990, în fiecare zi, în medie, 130 000 de persoane au fost scoase din sărăcia

extremă, chiar şi în condiţiile unei creşteri demografice continue. Cu toate acestea, în ciuda progreselor uriaşe înregistrate în ultimul secol, mai mult de nouă din zece persoane consideră că lumea noastră nu se îmbunătăţeşte. [3] Este posibil să aibă dreptate.

Ne confruntăm cu provocări fără precedent: schimbările climatice, biodiversitatea în pericol, deficitul de apă, cererea de energie, îmbătrânirea populaţiei şi, bineînţeles, pandemiile şi bolile infecţioase. Cu astfel de ameninţări constante la adresa existenţei noastre, niciun organ de presă nu ne va reaminti zilnic de tendinţa pe termen lung conform căreia oamenii trăiesc mai mult şi mai bine, deoarece luăm toate acestea de bune. Ceea ce este ciudat, deoarece nu există nicio garanţie că vom trăi mai mult şi mai bine decât strămoşii noştri.

Eu sunt optimistă. Cred că vom depăşi provocările cu care ne confruntăm ca specie cu ajutorul unor soluţii inovatoare, motiv pentru care cred că este esenţial să înţelegem procesul care creează noi cunoştinţe şi idei. Dacă un subiect ce pare atât de ezoteric ca fizica particulelor elementare a schimbat lumea noastră atât de profund, cu siguranţă există multe alte domenii de cercetare – nu doar în ştiinţă, ci în toate zonele curiozităţii omeneşti – pe care le-am trecut cu vederea.

Această cercetare motivată de curiozitate este exact genul de activitate care ne poate transforma viitorul în moduri pe care încă nu ni le putem imagina. Mai mult ca oricând, acesta este un moment în care trebuie să ne cultivăm abilităţile de a face faţă necunoscutelor şi de a lucra împreună pentru binele întregii omeniri.

Privind în urmă la aceste douăsprezece experimente, văd că, pe lângă faptul că trebuie să învăţăm cum să colaborăm, există trei ingrediente cheie de care avem nevoie pentru a face faţă provocărilor viitorului: capacitatea de a pune

întrebări bune; o cultură a curiozității; şi libertatea de a persista. Trebuie să punem întrebarea potrivită, în contextul potrivit şi la momentul potrivit. Cheia este să punem întrebări care ne lasă deschişi la ideea că am putea greşi, lăsând deoparte prejudecăţile şi înclinaţiile noastre. Indiferent cât de utilă ne este o idee, întrebările trebuie să fie formulate în aşa fel încât să ne putem schimba părerile şi convingerile. J.J. Thomson nu s-a întrebat „există electronul?" şi apoi a concluzionat că „nu" atunci când primele sale experimente au arătat rezultate care nu erau în concordanţă cu ipoteza sa. O întrebare bună trebuie să scormonească în inima unei necunoscute. Întrebările bune, cum ar fi „care este adevărata natură a razelor catodice?", tind să creeze în urma lor o mulţime de întrebări mai mici, cum ar fi „razele catodice se curbează într-un câmp electric?"

Este esenţial să punem aceste întrebări mai mici. De fapt, aceste întrebări mai mici au fost cele care l-au determinat pe Thomson să găsească inadvertenţe care au dezvăluit o cale de urmat. Doar atunci când toate întrebările mai mici au fost abordate a putut găsi răspunsul la marea sa întrebare. Rezultatul a fost descoperirea electronului.

De asemenea, este important faptul că nu trebuie neapărat să răspundem la toate întrebările pe care le punem. Este posibil ca unele dintre ele să nu primească răspuns timp de secole. Cu toate acestea, întrebările bune sunt agenţi puternici de motivare: pentru toate realizările minunate pe care le-am făcut încercând să înţelegem natura materiei şi a forţelor, nu răspunsurile sunt cele care ne fac să continuăm. Ci întrebările.

Mediul în care ne punem aceste întrebări nu este mai puţin important. Am văzut cum curiozitatea poate duce la descoperiri remarcabile, dar cum arată o cultură care sprijină curiozitatea? Seamănă cu sesiunile de

brainstorming pe care le organizează un prieten al meu, în care este permisă adăugarea de elemente la o idee, dar nu există critică. Seamănă cu momentul în care unul dintre doctoranzii mei a fost inspirat de un clip video de pe YouTube despre proiectarea de roller-coastere cu ajutorul inteligenței artificiale pentru a face acelaşi lucru cu acceleratoarele de particule, iar eu l-am încurajat din toată inima. Germenii unor idei au nevoie de îngrijire la început. Wilson nu încerca să inventeze un detector de particule, Röntgen nu încerca să inventeze o tehnologie medicală, iar CERN nu avea misiunea de a inventa World Wide Web. Ideile lor au înflorit doar pentru că au lucrat într-o cultură care a sprijinit curiozitatea umană.

Este greu să faci posibilă această cultură. Cu scopurile şi obiectivele noastre, cu planurile, cu acționarii, cu rapoartele şi cu termenele-limită, cine are timp pentru asta? Dar merită. Acțiunea de a căuta cunoştințe dezvăluie peisaje mai spectaculoase atunci când nu avem o destinație în minte.

În cele din urmă, trebuie să ne acordăm – nouă ca indivizi, echipe, societate, umanitate – libertatea de a persista în eforturile noastre. Nu ne-a fost posibil să asamblăm treptat modelul standard al fizicii particulelor elementare fără multe porniri greşite, multă confuzie şi acumularea frustrant de lentă a cunoştințelor de-a lungul deceniilor. Este incredibil de dificil să faci ceva ce necesită atât de mult timp. Dar să faci ceva pentru prima dată când doar câțiva alți oameni înțeleg ce faci tu este şi mai greu. Când spun că trebuie să ne cultivăm libertatea de a persista, mă refer la ceva mai mult decât la voință şi tenacitate. Vorbesc de lucruri tangibile, cum ar fi timpul, spațiul şi resursele.

Trebuie să încurajăm mediile în care oamenii îşi pot urma curiozitatea, îşi pot asuma riscuri intelectuale şi pot prospera. Ne aflăm într-un moment de mare oportunitate.

Dacă putem învăța să prețuim natura creativă a științei, să cultivăm curiozitatea și să promovăm atât profunzimea, cât și amploarea intelectuală în noi înșine și în tinerii din jurul nostru, nu am nicio îndoială că putem face față la ceea ce ne așteaptă. Însă, dintr-un punct de vedere deosebit de important, nu facem acest lucru.

De-a lungul acestei cărți, am văzut exemplu după exemplu de moduri în care înțelegerea noastră a unora dintre cele mai de bază părți ale fizicii a dus la rezultate tangibile. Ar fi ușor, știind acest lucru, să decidem să finanțăm cercetarea pe baza potențialului său de așa-zis impact. Multe state au ales să facă acest lucru, cel puțin în parte, dar acestea se concentrează adesea pe rezultate rapide. Într-un domeniu precum fizica particulelor elementare, care a avut o influență atât de mare asupra societății în moduri care nu puteau fi prevăzute și pe intervale de timp care sunt de neînțeles pentru majoritatea politicienilor, ce putem spune despre o astfel de gândire pe termen scurt?

Dacă concentrarea pe rezultate rapide ar fi fost modelul, laboratoarele lui Rutherford nu ar fi existat niciodată, iar propunerea lui Robert Wilson de a construi Tevatronul nu ar fi trecut niciodată de Congres. Peter Higgs însuși a declarat odată că, în actualul sistem academic, nici măcar nu ar mai avea un loc de muncă, [4] deoarece, pur și simplu, nu a produs suficiente lucrări. În sistemul actual, ar fi fost exclus de două ori, deoarece nu avea nici pretenția de a avea un impact pe termen scurt în lumea reală. Astăzi ne așteptăm la hiperproductivitate, responsabilitate și rentabilitate. Deși pare lipsit de rafinament să vorbim despre curiozitate și bani aproape în același timp, dacă vrem să facem progrese importante în viitor, vom avea nevoie de bani.

Crearea libertății de a persista necesită să recunoaștem rolul pe care cercetarea motivată de curiozitate îl joacă în

societatea noastră. Aceasta este o schimbare profundă în felul în care ne gândim la valoarea ştiinţei. De fapt, aş extinde acest argument la felul în care ne gândim la valoarea cercetării în general. Oamenii sunt – aşa cum spune Hannah Arendt – fiinţe care pun întrebări. După cum am văzut în repetate rânduri, persoana care face o descoperire este probabil cea mai nepotrivită să întrebe la ce va fi de folos sau ce ar putea rezulta din ea. Trebuie să fim de acord să sprijinim întrebările şi curiozitatea pentru că acestea contribuie la dezvoltarea noastră ca oameni, nu pentru că ar putea să ne pună ţara într-o poziţie economică mai bună sau pentru că ar putea să obţină încă o jumătate de procent din eficienţa panourilor solare – deşi ar putea face aceste lucruri oricum. Să nu ratăm descoperirile pentru că nu am fost capabili să le vedem valoarea înainte de a fi făcute.

Mai mult, trebuie să învăţăm cum să facem acest lucru în mod colectiv. Nimic nu este mai puternic decât oamenii care se reunesc într-un efort de colaborare. Cele câteva experimente din ultimele etape ale acestei poveşti nu ar fi putut să apară niciodată dacă nu ar fi fost indivizii care şi-au asumat riscuri şi au lucrat împreună timp de zeci de ani. Imaginează-ţi cât de diferit ar fi arătat vieţile noastre acum dacă generaţiile anterioare nu ar fi făcut acest lucru!

Când m-am ridicat în picioare pentru a vorbi în acea zi la Melbourne, am abordat multe dintre aceste puncte. Ca să fiu sinceră, nu-mi amintesc cum am coborât de pe scenă sau ce au avut de spus următorii vorbitori. Când a venit momentul pauzei de cafea, am încercat să ajung la standul de cafea, dar la fiecare câţiva metri apărea cineva, radiind, expunând diverse elemente din discursul meu. Pe unii dintre ei îi cunoşteam, pe cei mai mulţi, nu. Preşedintele comitetului de conferenţiari m-a găsit mai târziu în acea zi şi

a reflectat cu bucurie asupra numeroaselor conversații pe care discursul meu le-a stârnit în comunitatea noastră.

În anii de cercetare, am deprins ceva de o anvergură mai mare decât fizica. Am învățat cum să-mi urmez curiozitatea şi să păşesc în necunoscut, să pun întrebări bune şi să persist prin multe bariere care m-au împiedicat. Când am reflectat această învățătură în comunitatea mea, am descoperit că alții din domeniul meu erau alături de mine, încurajându-mă. A fost ceva ce nici măcar nu mi-am dat seama că îmi lipsea: un sentiment de apartenență.

Epuizată de la conferință, am decis să las mulțimea în urmă în ultima seară de vineri şi m-am îndreptat spre departamentul meu. M-a întâmpinat liniştea subsolului, iar paşii mei au răsunat pe coridorul de beton în timp ce treceam pe lângă o pictură murală a Big Bangului şi mă îndreptam spre nişte uşi de lemn.

Mi-am trecut legitimația universitară nouă-nouță prin cititorul de carduri, am împins uşa şi am intrat.

Pe lângă birourile şi cutiile de carton împrăştiate, am intrat în noul meu laborator. Pereții sunt făcuți din blocuri de beton suficient de groase pentru a proteja lumea exterioară de razele de particule care erau – şi vor fi din nou – create aici. Am obiective mari pentru acest laborator. Îmi imaginez spațiul din nou: pereți albi, lumini de siguranță intermitente, semne galbene de pericol, cabluri negre şi structuri de accelerare din cupru. Văd studenții, personalul şi colaboratorii – tribul meu – ocupați la lucru.

Întrebările pe care le pun acum explorează fizica acceleratoarelor de particule, unde nevoile duble ale fizicienilor, pe de o parte, şi ale medicinii şi industriei, pe de altă parte, mă trimit înapoi la biroul de proiectare, în punctul în care fizica şi invenția se ciocnesc. Mintea mea este plină de întrebări despre fizica fasciculelor de particule şi despre dansul lor turbionar şi neliniar de oscilații şi

interacțiuni electromagnetice. Mai târziu, vom ajunge la chestiuni de inginerie, de costuri şi de implementare, dar, deocamdată, curiozitatea mea începe cu interacțiunile din lumea minusculă şi invizibilă a particulelor şi conectarea acestora cu idei care ne-ar putea îmbunătăți viața, chiar dacă în viitorul îndepărtat. Aceasta este micuța mea nişă în cadrul unui spectru enorm de fizică, de ştiință, de aventură umană a cercetării şi cunoaşterii.

Experimentele concepute pentru a înțelege materia şi forțele sunt vechi de sute de ani, iar înțelegerea noastră actuală se bazează pe mii, poate zeci de mii de experimente. În această călătorie, am urmărit doar câteva dintre ele. Aceste experimente au modelat felul în care concepem natura Universului, au creat multe dintre tehnologiile pe care le folosim în fiecare zi şi au ajutat la crearea lumii noastre moderne, interconectate.

Aici, în noul meu laborator, mă aflu în pragul unei conversații cu necunoscutul, recunoscătoare că am timpul şi spațiul în care această conversație poate avea loc.

Ştiu că acest laborator este locul în care eşecul şi frustrarea vor sta alături de succes. Va fi nevoie de o revărsare de energie, curiozitate şi creativitate pentru a transforma acest spațiu dintr-o carcasă de blocuri de beton într-o sursă de noi cunoştințe, dar ştiu, de asemenea, şi că nu aş vrea să investesc această energie în nimic altceva.

Nu pot promite că noi vom schimba lumea, dar, cel puțin, ştim ce avem de făcut în continuare. Câte un experiment pe rând.

Mulțumiri

Deşi numele meu apare pe copertă, această carte – la fel ca experimentele din ea – a fost posibilă datorită multor alte persoane. Mulţumirile mele sincere se îndreaptă către:

Numeroşii mei colegi, cercetători şi experţi care au acceptat să fie intervievaţi, mi-au arătat laboratoarele sau m-au ajutat cu această poveste: Rob Appleby, Elisabetta Barberio, Alan Barr, Daniella Bortoletto, Phillip Burrows, Harry Cliff, Frank Close, Sonia Contera, Les Gamel, Rob George, David Jamieson, Sneha Malde, Steve Myers, John Patterson, Larry Pinsky, Harry Quiney, Sergey Romanov, Werner Ruhm, Martin Seviour, Marco Schippers, Ian Shipsey, Geoff Taylor şi Rachel Webster. O menţiune specială pentru Ray Volkas, pentru că a fost fizicianul teoretician şi susţinătorul meu de bază. Cu toate acestea, subliniez că toate greşelile ce ţin de fizică îmi aparţin în întregime; Mulţi mentori care au ajutat la înfăptuirea călătoriei mele în domeniul fizicii: Roger Rassool, care m-a ajutat să cred că pot studia acest subiect; şi Ken Peach, coordonatorul meu de doctorat, pentru că mi-a sprijinit întotdeauna comunicarea ştiinţifică în paralel cu cercetarea şi pentru că a văzut mereu în mine ceva mai mult decât vedeam eu în mine; Chris Wellbelove, agentul meu, pentru creativitatea, perseverenţa şi răbdarea ta.

Nu aş fi putut alege un ghid mai perspicace pentru călătoria mea spre a deveni scriitor; Minunaţii mei redactori, Alexis şi Edward, şi echipele de la Bloomsbury şi Knopf. Viziunea voastră pentru această carte m-a ajutat să mă dezvolt din toate punctele de vedere. Vă mulţumesc că m-aţi ajutat să spun această poveste; Fabulosul Oxford Writing Circle pentru că mi-a creat un spaţiu în care am putut împărtăşi – cu mâinile tremurânde – primele cuvinte ale acestei poveşti, şi London Writers Salon pentru foarte multe ore „singuri, dar împreună” în spaţiul nostru virtual sacru de scris. Sunteţi trucul meu de productivitate deloc secret;

Numeroşii mei colegi, colaboratori, membri ai personalului facultăţii şi studenţi pentru că au fost atât de înţelegători când am dispărut în mod repetat perioade lungi pentru a scrie această carte. Le mulţumesc în mod special studenţilor mei cercetători străluciţi, care sunt o sursă constantă de inspiraţie. Abia aştept să mă întorc în laborator sau, aşa cum ar spune Lucy: „Hai să fizicim”; Alex de H, Ian R, Jan M şi Sarah R pentru prietenia voastră de nezdruncinat pe tot parcursul acestui proces. Kippy şi Ross, părinţii mei, pentru că au acordat o importanţă radicală educaţiei. Şi bunica mea Enid, care, la 100 de ani, a trăit o mare parte din această poveste. Jason şi Grace, pentru încrederea şi sprijinul vostru. În cele din urmă, pentru sora mea geamănă identică, Megan. Nu există cuvinte pentru a-mi exprima recunoştinţa: eşti cu adevărat cea mai fabuloasă femeie din viaţa mea şi vei fi mereu.

Note

Introducere

1. Poate observi că nu am inclus aici gravitaţia, în ciuda faptului că ne aflăm tot timpul sub influenţa ei. Gravitaţia nu este inclusă în modelul standard şi este extrem de slabă în comparaţie cu celelalte trei forţe. Întrebarea de ce se întâmplă acest lucru şi cum să integrăm aceste teorii una cu alta constituie una dintre marile provocări ale fizicii în secolul XXI.

Capitolul 1. Tubul cu raze catodice: razele X şi electronul

1. Denumit, de obicei, tub catodic. Practic, descriu aici un tub Crookes-Hittorf, dar toate aceste tuburi erau similare. Aceste experimente trebuie să fie realizate într-un mediu aproape vid, altfel razele catodice se vor ciocni cu moleculele

de gaz şi vor fi împrăştiate sau pierdute. Distanța medie dintre coliziuni se numeşte „drum liber mediu” şi se aplică tuturor moleculelor, atomilor şi altor particule care călătoresc printr-un gaz. Drumul liber mediu al unei raze catodice în aer este minuscul, astfel încât tuburile funcționează numai în vid.

2. Nobel Lectures, Physics 1901–1921, Elsevier, Amsterdam, 1967.

3. Vezi Otto Glasser, Wilhelm Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays, Norman Publishing, San Francisco, 1993. Ne întrebăm dacă nu cumva partea îndepărtată a arborelui său genealogic care şi-a găsit faima prin fabricarea unor piese de mobilier elaborate cu caracteristici mecanice excentrice a avut o influență. Pentru mai multe informații în acest sens, vezi Wolfram Koeppe, Extravagant Inventions: The Princely Furniture of the Roentgens, Yale University Press, New Haven CT, 2012.

4. Glasser, Röntgen.

5. Unul dintre ele i-a fost oferit de un fizician ucrainean pe nume Ivan Puluj, care raportase în 1889 că plăcile fotografice deveneau negre atunci când sunt expuse la raze catodice. Röntgen şi Puluj lucraseră împreună la Strasbourg, iar Röntgen a participat în mod regulat la prelegerile ținute de Puluj, care a dezvoltat un tub catodic special numit „lampa Puluj”, produs în masă pentru o perioadă. Puluj l-a folosit pentru a produce imagini ale scheletelor unui şoarece şi ale unui făt. Aşadar, l-a întrecut Puluj pe Röntgen în descoperirea razelor X?

Probabil că nu, deoarece Puluj nu şi-a dat seama că vedea raze fundamental diferite de cele din interiorul tubului, iar aceasta a fost ideea cheie care a dus la atribuirea descoperirii lui Röntgen.

6. Glasser, Röntgen.

7. La început, denumirea „raze Röntgen” a rezistat, în special în Germania, dar nu a fost aşa în restul lumii, unde, cu timpul, a persistat denumirea mai atractivă de „raze X”. În schimb, numele său este comemorat printr-o unitate de radiație cunoscută sub numele de „Röntgen”, deşi în unele departamente medicale veți găsi un departament de „röntgenologie” în locul departamentului de radiologie sau raze X.

8. În acest moment, exista o diviziune geografică în gândirea privind natura razelor catodice. Majoritatea oamenilor de ştiință germani credeau că acestea erau un fel de lumină, în timp ce majoritatea oamenilor de ştiință britanici înclinau mai degrabă spre faptul că erau alcătuite dintr-un tip de particule.

9. Lord Rayleigh (J.W. Strutt), The Life of Sir J.J. Thomson OM, Cambridge University Press, Cambridge, 1943, p 9.

10. J.J. Thomson, „XL. Cathode Rays”, Philosophical Magazine Series 5, vol.

44, 1897, pp 93–316.

11. J.J. Thomson, Recollections and Reflections, G. Bell, Londra, 1936.

12. Thomson, „XL. Cathode Rays”.

13. Strada Albemarle din Londra, unde se află Royal Instituțion, a fost transformată în prima stradă cu sens unic din lume pentru a face față numeroaselor trăsuri ale vizitatorilor pentru aceste Discursuri de vineri seara.

14. Existența electronului a fost acceptată atât de şcoala de gândire a „particulelor”, cât şi de cea a „luminii/eterului”, deoarece acesta era deja identificat ca unitate a electricității, iar în această din urmă teorie se presupunea că este o perturbare a eterului.

15. Proceedings of the Royal Instituțion of Great Britain, vol. 35, 1951, p 51.

16. Lewis H. Latimer, „Process of manufacturing carbons”, brevetul american nr.

252 386, depus în data de 19 februarie 1881.

17. P.A. Redhead, „The birth of electronics: Thermionic emission and vacuum”, Journal of Vacuum Science and Technology, vol. 16, 1998.

18. Între timp, el a proiectat şi construit emiţătorul radio care a trimis primele transmisiuni radio peste Atlantic în decembrie 1901. Conform înţelegerii sale cu compania Marconi, meritele i-au revenit lui Marconi, în ciuda faptului că invenţia era a lui Fleming. Ulterior, acesta a considerat că Marconi a fost lipsit de generozitate faţă de el.

19. Compania se formase în urma unei lupte juridice în jurul proiectării becului electric. Aceasta a produs becuri în întregime după modelul lui Swan, cu excepţia filamentului.

20. Trioda a fost inventată de Lee De Forest în 1906 pentru un dispozitiv numit audion, un amplificator audio timpuriu. Vezi Lee De Forest, „The Audion: A new receiver for wireless telegraphy”, Transactions of the American Institute of Electrical and Electronic Engineers, vol. 25, 1906, pp 35–63.

21. Încă din anii 1920, câţiva oameni au avut ideea de a muta sursa de raze X şi detectorul şi de a face o mulţime de raze X din unghiuri diferite. Obiectele din mijlocul montajului ar fi fost focalizate, iar cele din exterior ar fi fost estompate şi ar fi putut fi ignorate. Această idee a fost numită „tomografie” şi aproximativ zece persoane diferite, toate lucrând independent, au produs o serie de brevete pe această idee între 1921 şi 1934. Toate aceste persoane ar putea revendica invenţia, dar prima versiune funcţională a fost realizată de Gustave Grossman din Germania la sfârşitul anilor 1930, prin intermediul companiei sale Siemens-Reiniger-Veifa GmbH. Dar metoda a rămas greoaie şi dificil de utilizat şi nu era încă bună pentru a arăta

diferențele de densitate dintre diferitele tipuri de țesut din interiorul corpului.

22. Şi nu era suficient un creier obişnuit de vacă. Metoda de ucidere din abatoare de la acea vreme le deteriora, aşa că a trebuit să se deplaseze la casele evreieşti cuşer, unde creierele de vacă erau mai puțin vătămate şi potrivite pentru experimentele sale CT.

23. S. Bates şi colaboratorii, Godfrey Hounsfield: Intuitive Genius of CT, Institutul Britanic de Radiologie, Londra, 2012.

24. Ibidem.

Capitolul 2. Experimentul cu folia de aur: structura atomului

1. După studiile de la Oxford, Soddy a emigrat în Canada în speranța de a obține o catedră la Toronto, dar nu a avut succes, aşa că a ajuns să fie angajat ca demonstrant de chimie la Universitatea MeGill.

2. Muriel Howorth, Pioneer Research on the Atom: The Life Story of Frederick Soddy, New World Publications, Londra, 1958.

3. Ibidem.

4. Richard P. Brennan, Heisenberg Probably Slept Here: The Lives, Times and Ideas of the Great Physicists of the 20th Century, J. Wiley, Hoboken NJ, 1997.

5. Numit după patria mamă a lui Marie Curie, Polonia.

6. Ernest Rutherford, „Uranium radiation and the electrical conduction produced by it”, Philosophical Magazine, vol. 57, 1899, pp 09–63.

7. M.F. Rayner-Canham şi G.W. Rayner-Canham, Harriet Brooks: Pioneer Nuclear Scientist, MeGill-Queen’s University Press, Montreal, 1992.

8. T.J. Trenn, The Self Splitting Atom: A History of the Rutherford–Soddy Collaboration, Taylor and Francis, Londra, 1977.

9. Howorth, Pioneer Research.

10. A.S. Eve, Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford, Cambridge University Press, Cambridge, 1939, p 8.

11. Ibidem.

12. Ibidem, p 18.

13. Această tradiție cunoscută sub numele de „limita” căsătoriei se aplica femeilor în majoritatea profesiilor şi a luat sfârşit abia în anii 1950 în Canada, în timp ce în Statele Unite şi în alte țări occidentale a persistat până la mijlocul anilor 1970.

14. Rayner-Canham, Harriet Brooks.

15. John Campbell, Rutherford: Scientist Supreme, AAS Publications, Washington DC, 1999.

16. Chiar şi în prezent, fizicienii recunosc de obicei că asociază mental atomii şi particulele cu mici bile colorate, o imagine atât de incorectă, încât mulți îşi doresc să nu o fi învățat niciodată în tinerețe.

17. H. Nagaoka, „Kinetics of a system of particles illustrating the line and the band spectrum and the phenomena of radioactivity”, Philosophical Magazine, vol. 7(41), 1904.

18. C.A. Fleming, „Ernest Marsden 1889–1970”, Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, vol. 17, 1971, pp 62–96.

19. Arthur Eddington, The Nature of the Physical World, Macmillan, Londra, 1928.

20. Agenția de Protecție a Mediului din Statele Unite ale Americii, „Mail irradiation”. Disponibil online la https://www.epa.gov/radtown/mail-irradiation.

Accesat pe 29 martie 2021.

21. P.E. Damon şi colaboratorii, „Radiocarbon dating the Shroud of Turin”

Nature, vol. 337, 1989, pp 11–15. https://doi.org/10.1038/337611a0.

22. C.J. Bae, K. Doouka şi M.D. Petraglia, „On the origin of modern humans: Asian perspectives”, Science, vol. 358 6368, 2017. 10.1126/science. Aai9067.

23. Sarah Zielinski, „Showing their age: Dating the fossils and artifacts that mark the great human migration”, revista Smithsonian, iulie 2008. Disponibil online la https://www.smithsonianmag.com/history/showing-their-age-62874/.

Accesat pe 29 martie 2021.

24. C. Buizert şi colaboratorii, „Radiometric 81Kr dating identifies 120,000-year-old ice at Taylor Glacier, Antarctica”, Proceedings of the Național Academy of Sciences, vol. 111, 2014, pp, 876–81.

Https://doi.org/10.1073/pnas.1320329111.

25. Ipoteza asteroidului a fost avansată inițial de fizicianul Luis Alvarez (vezi capitolul 8) şi de fiul său. De atunci a existat o controversă cu privire la întrebarea dacă a fost vorba de vulcanism, mai degrabă decât de un asteroid, dar, în 2020, modelarea fiecărui scenariu a recentrat modelul asteroidului ca fiind cel mai probabil. Vezi Chiarenza şi colaboratorii, „Asteroid impact and not volcanism caused the end-Cretaceous dinosaur extinction event”, Proceedings of the Național Academy of Sciences, vol. 117, 2020, pp 7 084–93.

Https://doi.org/10.1073/pnas.2006087117.

26. Adam C. Maloof şi colaboratorii, „Possible animal-body fossils în pre-Marinoan limestones from South Australia”, Nature Geoscience, 3, 2010, pp 53–9. https://doi.org/10.1038%2Fngeo 934.

Capitolul 3. Efectul fotoelectric: teoria cuantică a luminii

1. La vremea respectivă, se folosea cuvântul „corpuscul”, ceea ce făcea din Newton un protagonist al „corpuscularismului”.

2. Ideea eterului a persistat până în secolul al XIX-lea, când, în 1887, experimentul Michelson-Morley a demonstrat că eterul luminifer nu exista, provocând suficientă jenă pentru fizică pentru a deschide calea acceptării relativității restrânse a lui Einstein.

3. Difracția are loc şi în situația gardului, dar lumina care trece prin ulucile lipsă domină în comparație cu efectul minor al difracției. Efectul creşte atunci când „fanta” este similară cu lungimea de undă a luminii, care este de numai câteva sute de nanometri.

4. Sau, dacă nu ai timp – ori dacă iazul tău este înghețat –, sunt disponibile online versiuni frumoase, inclusiv această versiune de la Veritasium. Disponibilă online la https://www.youtube.com/watch?v=Iuv6hY6zsd0.

5. La vremea respectivă, ei au descris efectul în termeni de sarcină electrică, deoarece electronii nu au fost descoperiți decât peste un deceniu.

6. Lenard a primit premiul Nobel în 1905 pentru contribuțiile sale la efectul fotoelectric. El a fost antisemit în mod public şi a descris lucrările lui Einstein în domeniul relativității ca fiind o „fraudă evreiască”. Ulterior, a devenit şeful „fizicii ariene” în timpul lui Hitler.

7. B.R. Wheaton, „Philipp Lenard and the Photoelectric Effect, 1889–1911”, Historical Studies în the Physical Sciences, vol. 9, 1978, pp 99–322.

8. Nivelul de vid pe care l-a atins a fost de o milionime de milimetru coloană de mercur, aproximativ 10-6 milibari în unitățile de măsură de astăzi, ceea ce se situează cu mult în gama modernă de „vid înalt”, o performanță uimitoare cu tuburi de sticlă!

9. J.J. Thomson, Conduction of Electricity Through Gases, Cambridge University Press, Cambridge, 1903.

10. R.A. Millikan şi G. Winchester, „The influence of temperature upon photo-electric effects în a very high vacuum", Philosophical Magazine, vol. 14, 1907, pp 88–210. https://doi.org/10.1080/14786440709463670.

11. Ibidem.

12. R.A. Millikan, The Autobiography of R.A. Millikan, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1950.

13. Există unele dovezi că principalele lucrări ale lui Einstein sunt, cel puțin parțial, opera lui Mileva. Vezi Pauline Gagnon, „The forgotten life of Einstein's first wife", Scientific American, 2016. Disponibil online la https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/the-forgotten-life-of-einsteins-first-wife/

14. G. Holton, „Of love, physics and other passions: The letters of Albert and Mileva" (partea a doua), Physics Today, vol. 47, 1994, p 7.

15. Obiectele astrofizice pot radia raze X. Astronomia cu raze X este doar o modalitate suplimentară pe care o avem de a observa Universul într-o gamă de frecvențe diferită, care merge de la radioastronomie până la razele gamma.

Căutați pe Google câteva imagini de la observatorul cu raze X Chandra – sunt spectaculoase!

16. Acesta este un obiect teoretic, deşi poate fi aproximat în experimente.

17. Suntem mult mai puțin sensibili la lumina violetă decât la cea albastră, astfel încât, chiar dacă partea violetă a spectrului ar fi mai strălucitoare, ochiul nostru ar percepe albastrul ca fiind cel mai luminos.

18. Există o poveste pe care fizicienii o spun adesea, conform căreia Planck a început să studieze radiația corpului negru deoarece autoritățile germane i-au cerut să

calculeze cum să facă becurile mai eficiente, dar zvonul nu are prea mult adevăr.

19. Planck a considerat că lumina emisă de corpul negru trebuie să se datoreze vibrațiilor așa-numitelor rezonatoare – sarcini electrice oscilante – care produc radiație electromagnetică. Fiecare rezonator ar putea să vibreze la orice frecvență. Acest lucru provenea din viziunea mecanicii statistice asupra fizicii termice.

20. Pentru o explicație lungă, dar pătrunzătoare, care explică lucrarea crucială a lui Planck, vezi A.P. Lightman, The Discoveries: Great Breakthroughs în Twentieth-Century Science, Pantheon, New York, 2005.

21. H are o valoare de 6,626 × 10-³⁴ Joule-secundă (sau în unități ŞI m²kg/s).

Ideea principală este că reprezintă un număr foarte mic. Unitatea de Joule-secundă este unitatea de acțiune – energie înmulțită cu timpul – care reprezintă energia unei unde împărțită la frecvența undei exprimată în Hz (s-1).

22. A. Hermann, The Genesis of Quantum Theory, MIT Press, Cambridge MA, 1971.

23. Helge Kragh, „Max Planck: The reluctant revoluționary”, Physics World, vol. 13(12), 2000. Disponibil online la https://doi.org/10.1080/14786440709463670.

24. Abraham Pais, Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein, Oxford University Press, Oxford, 2005, p 82.

25. În 1909–1910, el a renunțat temporar la efectul fotoelectric pentru a se lansa într-o serie majoră de experimente care îl vor lăsa în istorie. Ideea să a fost destul de ingenioasă şi, dacă ai studiat ceva fizică, acesta este motivul pentru care numele lui Millikan îți sună cunoscut. Millikan ştia că electronii sunt particule după lucrările lui J.J. Thomson din 1897, dar a găsit cea mai precisă modalitate de a măsura sarcina electrică a electronului.

Această lucrare a început să elimine orice îndoială că electronul era, de asemenea, şi lucrul care călătorea prin fire sub formă de electricitate. Studenții universitari recreează adesea şi astăzi acest celebru experiment al „picăturii de ulei”. Însă, pentru mine, cele mai impresionante sunt experimentele sale mai puțin cunoscute şi mult mai dificile privind efectul fotoelectric.

26. Recent, Caltech a eliminat numele lui Millikan de pe clădirile, distincțiile şi bunurile sale din cauza unei idei pe care se pare că a avut dificultăți să o accepte, cea a egalității rasiale. „Millikan are numele şi prestigiul legate de o mişcare eugenică reprobabilă din punct de vedere moral, care fusese deja discreditată din punct de vedere ştiințific în timpul său”. Vezi https://www.caltech.edu/about/news/caltech-to-remove-the-names-of-robert-a-millikan-and-five-other-eugenics-proponents.

27. Diodele emițătoare de lumină (LED) utilizează doar procesul invers, folosind electricitatea pentru a produce lumină.

28. Această metodă se numeşte fotopletismografie (PPG) şi este, de asemenea, utilizată în cazul pulsoximetrelor.

29. Aceşti orbitali sunt, practic, locul în care se găseşte electronul în aproximativ 90% din timp: poziția electronului este incertă, datorită principiului incertitudinii al lui Heisenberg.

30. V. Kandinsky, „Reminiscences” (1913), în V. Kandinsky, Kandinsky: Complete Writings on Art, Volum editat de Kenneth C. Lindsay şi Peter Vergo. 2 vols. Boston: G.K. Hall şi colaboratorii; Londra: Faber and Faber, 1982, pp 70.

31. Ce înseamnă pentru oameni să aibă o lungime de undă? Nu prea multe, de fapt; se poate spune că orice obiect cu masă şi energie are o lungime de undă, iar odată ce am ajuns la viteza de deplasare, a noastră este în jur de 10-

37m, ceea ce este mai puțin decât putem spera să măsurăm vreodată. Îmi pare rău să te dezamăgesc.

32. Acest lucru este descris online la adresa https://medium.com/the-physics-arxiv-blog/physicists-smash-record-for-wave-particle-duality-462c39db8e7b, care se referă la Sandra Eibenberger şi colaboratorii, „Matter-wave interference with particles selected from a molecular library with masses exceeding 10000 amu", Physical Chemistry Chemical Physics, vol. 15, 2013, pp 4,696–700.

Https://doi.org/10.1039/C3CP51500A.

33. A. Tonomura şi colaboratorii, „Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern", American Journal of Physics, vol. 57, 1989.

Https://doi.org/10.1007/s00016-011-0079-0.

34. R. Rosa, „The Merli–Missiroli–Pozzi two-slit electron-interference experiment", Physics în Perspective, vol. 14, 2012, pp 78–95.

Https://doi.org/10.1119/1.16104.

35. Pentru o explicație detaliată, dar accesibilă, a nivelurilor de energie în solide, vezi Chad Orzel, „Why de solids have energy bands?", Forbes, 2015. Disponibil online la
https://www.forbes.com/sites/chadorzel/2015/07/13/why-do-solids-have-energy-bands/#2acb0b9d1080.

Capitolul 4. Camere cu ceaţă: raze cosmice şi o ploaie de particule noi

1. Franz Linze a realizat 12 zboruri cu balonul în timpul studiilor sale de doctorat. Alfred Gockel şi Karl Bergwitz au folosit şi ei baloane cu aer cald înaintea lui Victor Hess.

2. A nu se confunda cu radiația cosmică de fond din domeniul microundelor, descoperită de Penzias şi Wilson în 1965, care reprezintă radiația electromagnetică slabă remanentă dintr-un stadiu timpuriu de formare a Universului.

3. C.T.R. Wilson, „XI. Condensation of water vapour în the presence of dust-free air and other gases”, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, vol. 189, 1897, pp 65–307. https://doi.org/10.1098/rsta.1897.0011.

4. C.T.R. Wilson, „On the ionization of atmospheric air”, Proceedings of the Royal Society, vol. 68, 1901. https://doi.org/10.1098/rspl.1901.0032.

5. Sue Bowler, „C.T.R. Wilson, A great Scottish physicist: His life, work and legacy” (lucrare pentru conferință), Royal Society of Edinburgh, 2012.

6. Într-un laborator modern de suflare a sticlei, sticla folosită este Pyrex – aceeaşi pe care o ai şi tu în bucătărie –, care este disponibilă pe scară largă şi este fabricată după o rețetă standard, astfel încât suflătorii de sticlă ştiințifică din zilele noastre, persoane cu o abilitate tehnică rară, pot îmbina fără probleme piese provenind din Japonia, Statele Unite sau Europa. Dar Wilson ar fi folosit sticlă de siliciu, care era mult mai fragilă şi dificil de modelat.

7. C.T.R. Wilson, Conferința Nobel, 12 decembrie 1927.

8. Ibidem.

9. G. Zatsepin şi G. Khristiansen, „Dmitri V. Skobeltsyn”, Physics Today, vol.

45(5), 1992. https://doi.org/10.1098/rspl.1901.0032.

10. Harriet Lyle, interviu cu Carl Anderson, ianuarie 1979. Disponibil la http://resolver.caltech.edu/CaltechOH:OH_Anderson_C. Accesat pe 6 aprilie 2021.

11. C.D. Anderson, „The Positive Electron”, Physical Review, vol. 43, 1933, p 91. https://doi.org/10.1103/PhysRev.43.491.

12. Dirac nu a inventat termenul „antimaterie”, care a fost introdus de Arthur Schuster în 1898 (A. Schuster, „Potential matter: A holiday dream”, Nature, vol.

58, 1898). Cu toate acestea, ideea să era pur speculativă şi invoca antigravitația, în timp ce ideea modernă de antimaterie nu o face.

13. John Hendry, Cambridge Physics în the Thirties, Adam Hilger, Londra, 1984.

14. E. Cowan, „The picture that was not reversed", Engineering and Science, vol. 46(2), 1982, pp –28. Disponibil online la: https://resolver.caltech.edu/CaltechES:46.2. Cowan. Accesat ultima dată pe 18 ianuarie 2022.

15. Werner Heisenberg, scrisoare către Wolfgang Pauli, 31 iulie 1928. În W.

Pauli, Scientific Correspondence, vol. 1, Springer Verlag, Berlin, 1979.

16. A. Pais, Inward Bound, Oxford University Press, Oxford, 1986, p 52.

17. Blackett a trebuit să aştepte până în 1948, după ce a făcut o altă descoperire majoră, în timp ce Occhialini pierdea trenul.

18. Acestea sunt particule cu adevărat fundamentale, deci nu sunt compuse din electroni, şi există, de asemenea, două particule fantomatice numite neutrino eliberate în această dezintegrare, care nu au fost descoperite decât mult mai târziu. Le vom prezenta în capitolul 9.

19. Acesta a fost fizicianul maghiar-american I.I. Rabi.

20. După cum vom vedea, mai târziu, termenul de „mezon" a devenit numele dat particulelor subatomice instabile compuse dintr-un quarc şi un antiquarc, dar acestea urmau să se întâmple într-un viitor îndepărtat.

21. Interviu cu Anderson Lyle.

22. Ruth Lewin Sime, „Marietta Blau: Pioneer of photographic nuclear emulsions", Physics în Perspective, vol. 15, pp –32.

Https://doi.org/10.1007/s00016-012-0097-6.

23. Vezi https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1950/summary/.

24. Rajinder Singh şi Suprakash C. Roy, A Jewel Unearthed: Bibha Chowdhuri, Shaker Verlag, Düren, 2018.

25. C.M.G. Lattes şi colaboratorii, „Processes involving charged mesons”, Nature, vol. 159, 1947. https://doi.org/10.1038/159694a0.

26. Singh şi Roy, A Jewel Unearthed, p 1. Însă este interesant faptul că discursul lui Powell la decernarea premiului Nobel nu conține nici măcar o singură referire la lucrările lui Blau sau Chowdhuri.

27. Sime, „Marietta Blau”.

28. M.W. Rossiter, „The Matthew Matilda effect”, Social Studies în Science, vol.

23(2), 1993. https://doi.org/10.1177/030631293023002004.

29. Miuonii se dezintegrează în electroni şi neutrino. Vezi capitolul 9.

30. Vezi http://www.scanpyramids.org/index-en.html şi lucrarea care prezintă rezultatele, K. Morishima şi colaboratorii, „Discovery of a big void în Khufu’s Pyramid by observație of cosmic-ray muons”, Nature, vol. 552, 2017, pp 86–90. https://doi.org/10.1038/nature24647.

31. Dacă te poți gândi la un nou mod în care această tehnică poate fi utilizată, poți accesa fonduri pentru a ajuta la generarea unei noi industrii prin intermediul colaborării „Muographix”, care lansează o invitație deschisă antreprenorilor pentru a obține acces la tehnologia detectorului.

Capitolul 5. Primele acceleratoare de particule: divizarea atomului

1. Bursa a fost acordată de către Comisia Regală pentru Marea Expoziție din 1851.

2. E. Rutherford, „1928 Address of the President at the anniversary meeting”, Proceedings of the Royal Society, vol. 117, 1928, pp 00–16.

3. M.L.E. Oliphant şi W.G. Penney, „John Douglas Cockcroft 1897–1967”, Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, vol. 14, 1968. Disponibil la adresa: https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsbm.1968 0007.

4. E. Rutherford, „Structure of the radioactive atom and the origin of the α-rays”, Philosophical Magazine, seria 7(4), 1927, pp 80–605.

Https://doi.org/10.1080/14786440908564361.

5. George Gamow, My World Line: An Informal Autobiography, Viking, New York, 1970.

6. Ibidem.

7. Ibidem.

8. Adică o particulă cu o singură sarcină electrică. E=qV înseamnă energia, E, obținută de o particulă cu sarcina q înmulțită cu diferența de potențial prin care se deplasează, V.

9. Brian Cathcart, The Fly în the Cathedral: How a Small Group of Cambridge Scientists Won the Race to Split the Atom, Penguin, Harmondsworth, 2004.

10. Efectul corona apare atunci când câmpul electric din jurul unui conductor nu este suficient de mare pentru a provoca o defecțiune sau o scânteie, dar face ca aerul din jurul acestuia să devină conductor. Acesta emite adesea o strălucire albăstruie în aer.

11. Fiecare treaptă consta în diode (care lasă curentul să treacă prin ele într-o singură direcție, ca o stradă cu sens unic pentru electricitate) şi condensatori (care stochează sarcina electrică, ca într-un parc auto electric). Mai târziu, când a încercat să o breveteze, avea să descopere că invenția sa fusese deja realizată de Heinrich Greinacher.

12. J.D. Cockcroft şi E.T.S. Walton, „Disintegration of lithium by swift protons”, Nature, vol. 129, 1932, p 49. https://doi.org/10.1038/129649a0.

13. Cathcart, The Fly în the Cathedral.

14. Cockcroft şi Walton coborâseră tensiunea la acest nivel şi au constatat că experimentul încă funcționa.

15. Institutul Cockcroft este unul dintre cele două institute de acceleratoare din Marea Britanie, numit după John Cockcroft, care era din Todmorden, la aproximativ o oră de mers cu maşina de Institutul Cockcroft din Daresbury, Cheshire. Celălalt este John Adams Institute for Accelerator Science, cu sediul la Oxford, institutul în care m-am format şi pentru care lucrez în timp ce scriu aceste rânduri, care poartă numele fostului director de cercetare de la CERN, şi nu al fostului preşedinte al SUA.

16. The ISIS Neutron and Muon Source.

17. J. Thomason, „The ISIS spallation neutron and muon source”, Nuclear Instruments and Methods în Physics Research A, vol. 917, 2019, pp 1–7.

Https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.129.

18. Harry E. Gove, From Hiroshima to the Iceman: The Development and Applications of Accelerator Mass Spectroscopy, Institute of Physics Publishing, Bristol, 1999.

19. Existau lucrări anterioare care utilizau ciclotroane în Statele Unite. Vezi Richard Muller, „Radioisotope Dating with a Cyclotron”, Science, vol. 196, 1977, pp 89–94, deşi această lucrare nu a demonstrat datarea carbonului cu AMS. Echipa lui Gove a fost prima care a făcut acest lucru şi care a folosit un accelerator în tandem pentru experiment, tehnologie preferată şi astăzi.

20. Nu este clar dacă Gove şi Bennett au testat vreodată vioara, dar probabil ar fi găsit o datare ambiguă, chiar dacă ar fi fost reală. Perioada în care au fost fabricate viorile Stradivarius se întâmplă să corespundă cu o perioadă de

treizeci de ani de activitate solară scăzută, numită minimul Maunder. Nivelul mai scăzut de ultraviolete solare din această perioadă a permis acumularea de mai mult ozon în atmosfera Pământului şi, ca urmare, razele cosmice au creat un exces de carbon-14 radioactiv în atmosferă. Orice lemn din perioada de minim Maunder are un surplus de carbon-14, ceea ce face ca acesta să pară mult mai recent, în acest caz, din anii 1950. Nu este posibil să scăpăm de această ambiguitate a datei fără o investigație istorică mai tradițională. Perioade ca aceasta sunt cunoscute şi luate în considerare în tehnicile moderne de datare cu carbon.

21. Disponibil la adresa: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?Orig_q=RN:47061416.

Capitolul 6. Ciclotron: producerea artificială a radioactivităţii

1. O versiune a tabelului periodic poate fi găsită la https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=1017.

2. Herbert Childs, An American Genius: The Life of Ernest Orlando Lawrence, Father of the Cyclotron, E.P. Dutton, Boston, 1968.

3. În interiorul unui conductor precum un tub metalic, orice tensiune din exterior nu pătrunde în interior.

4. Childs, An American Genius.

5. Ibidem.

6. M.S. Livingston şi E.M. MeMillan, „History of the Cyclotron”, Physics Today, vol. 12(10), 1959. https://doi.org/10.1063/1.3060517.

7. L. Alvarez, Ernest Orlando Lawrence: A Biographical Memoir, Național Academy of Sciences, Washington DC, 1970.

8. Childs, An American Genius.

9. E.O. Lawrence, „Radioactive sodium produced by deuton bombardment”, Physical Review, vol. 46, 1934, p 46. https://doi.org/10.1103/PhysRev.46.746.

10. Etica efectuării experimentelor pe animale a suferit, de asemenea, o revizuire majoră de la acele vremuri.

11. Utilizarea izotopului cobalt-60 în domeniul medical a fost identificată recent ca un risc de proliferare nucleară şi reprezintă un pericol de expunere nedorită la radiaţii dacă sursele sunt eliminate în mod incorect. Se preconizează că utilizarea va scădea în viitor, deoarece acceleratoarele sunt acum sursa preferată, după cum s-a discutat în capitolul 10.

12. În prezent, existența technețiului în spectrul stelelor a demonstrat că în stele se creează elemente grele, un proces cunoscut sub numele de nucleosinteză stelară, dar acest lucru nu a fost cunoscut până la sfârşitul anilor 1950.

13. D.C. Hoffman, A. Ghiorso şi G.T. Seaborg, „Chapter 1.2: Early Days at the Berkeley Radiation Laboratory”, în The Transuranium People: The Inside Story, University of California, Berkeley and Lawrence Berkeley 14. Național Laboratory, 2000.

Capitolul 7. Radiaţia sincrotronică: apare o lumină neaşteptată

1. Disponibil online la https://www.nytimes.com/1998/06/09/nyregion/commemorating-a-discovery-in-radio-astronomy.html.

2. Bell-Burnell este astăzi un profesor celebru şi o susținătoare a diversității în ştiință. În 2018, ea a donat cele 3 milioane de dolari câştigate în urma premiului Breakthrough Prize pentru a finanța burse de studii în vederea creşterii diversității în fizică.

3. Departamentul de fizică al Universității din Illinois a creat o competiție pentru a-i da un nume, iar printre propunerile primite s-a numărat un nume german de 84 de

caractere, care, din fericire, nu a câştigat: Ausserordentlichehochgeschwindigkeitselektronenentwickelndesschwerarbeitsbeigollitron, care se traduce prin „Maşină care lucrează din greu pentru generarea de electroni cu viteză extraordinar de mare”.

4. Rolf Widerøe avea şi el un concept similar.

5. Recipientul de vid este, într-adevăr, denumit de experţi „gogoaşă” (donut).

6. Chiar şi astăzi numim oscilaţiile caracteristice ale particulelor din acceleratoare oscilaţii de betatron.

7. Fizicienii teoreticieni îşi dăduseră seama de acest lucru încă din 1897 şi a fost folosit în primele încercări de a descrie felul în care se aştepta ca electronii să piardă energie şi să intre în spirală în nucleu, în modelul atomic al lui Rutherford. Însă, majoritatea fizicienilor au încetat să o mai analizeze după ce Bohr a explicat stabilitatea atomului cu ajutorul mecanicii cuantice, făcând problema irelevantă pentru înţelegerea atomului. În anii 1940, odată cu apariţia betatronului, electronii au fost accelerați până la energii suficiente pentru ca acest efect să devină o problemă.

8. Câțiva ani mai târziu, Ed MeMillan a publicat o teorie completă a sincrotronului şi, în ciuda faptului că era la curent cu ideea lui Oliphant, nu a inclus nicio menţiune sau citare a lucrării lui Oliphant.

9. Această analogie cu surferul în vânt potrivnic a fost furnizată de fostul meu coleg de la RAL, dr. Stephen Brooks, în prezent la Brookhaven Național Laboratory.

10. Magnetul era alcătuit din o mulțime de piese plate sau „laminaţii” unite între ele, ca un tort metalic tăiat în bucăți mici şi subțiri. Această metodă de segmentare a unui magnet este utilă atunci când urci şi cobori rapid magnetul, deoarece în felul acesta curenţii electrici „turbionari” nu circulă dezlănțuiți prin tot oțelul.

11. Ei fuseseră învinşi cu o lună mai devreme de doi fizicieni britanici, F.K.

Goward şi D.E. Barnes, care au transformat un mic betatron de la Woolwich Arsenal într-un sincrotron de electroni de 8 MeV.

12. H. Pollock, „The discovery of synchrotron radiation”, American Journal of Physics, vol. 51, 1983. https://doi.org/10.1119/1.13289.

13. Îți poți da seama dacă ochelarii de soare sunt polarizați ținându-i la 90 de grade față de o pereche despre care ştii sigur că este polarizată într-un magazin şi privind prin lentile: dacă este complet întuneric, aceştia sunt polarizați. Roteşte-i înapoi la zero grade şi vor lăsa din nou să treacă lumina.

14. M.L. Periman şi colaboratorii, „Synchrotron radiation: Light fantastic”, Physics Today, vol. 27, 1974. https://doi.org/10.1063/1.3128691.

15. Au primit premiul Nobel pentru această lucrare doar doi ani mai târziu, în 1915.

16. Fasciculul de electroni are o „durată de viață” limitată din cauza mai multor efecte care fac ca electronii să se piardă treptat: dispersia electronilor din cantitatea minusculă de gaz rămasă în vid, împrăştierea electronilor între ei şi excitațiile cuantice. Aminteşte-ți că electronii emit lumină în cuante – fotoni – fiecare electron emițând aproximativ 100 de fotoni de fiecare dată în sincrotron.

Acest efect cuantizat provoacă „umflături” bruşte care afectează electronii şi fac ca fasciculul să se difuzeze, limitând durata de viață a acestuia în inel.

17. Puterea de radiație emisă este proporțională cu masa particulei la puterea a patra, adică masa la pătrat şi din nou la pătrat.

Capitolul 8. Fizica particulelor elementare la scară mare: rezonanțe ciudate

1. Alvarez a fost însoțit de alți doi fizicieni, Harold Agnew şi Lawrence Johnson.

2. https://www.manhattanprojectvoices.org/oral-histories/carl-d-andersons-interviu.

3. Împreună cu nepotul ei, Otto Frisch.

4. https://www.manhattanprojectvoices.org/oral-histories/evelyne-litzs-intervew.

5. Winston S. Churchill, Victory, Rosetta Books, New York, 2013.

6. Alvarez a fost cel care l-a informat pe Ernest Lawrence despre descoperire.

7. Vor mai trece încă opt ani până când fizicienii vor identifica faptul că ambele particule erau, de fapt, versiuni ale ceea ce numim acum kaon.

8. R. Armenteros şi colaboratorii, „LVI. The properties of charged V-particles", The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, vol. 43, 1952, pp 97–611. https://doi.org/10.1080/14786440608520216.

9. Există trei tipuri de pion: pozitiv, negativ şi neutru.

10. Aceasta a fost o provocare formidabilă, deoarece protonii, aşa cum am menționat mai devreme, sunt de aproximativ 2 000 de ori mai grei decât electronii şi au nevoie de magneți mai puternici pentru a-i putea capta la viteză mare, dar au fost forțați, deoarece fasciculele de electroni îşi pierdeau o mare parte din energie în urma radiației sincrotronice, aşa cum am văzut în ultimul capitol.

11. Luis W. Alvarez, Alvarez: Adventures of a Physicist, Basic Books, New York, 1987.

12. Eric Vettel, Donald Glaser: An Oral History, University of California, Berkeley, 2006.

13. Ibidem.

14. Există un mit popular în rândul fizicienilor conform căruia Glaser a inventat camera cu bule în timp ce privea fix

într-un pahar de bere. Din păcate, nu este adevărat. Povestea reală este că, la un moment dat, Glaser s-a aflat într-un pub local numit Pretzel Bell cu câțiva dintre colegii săi, care au început să-l tachineze în legătură cu experimentele sale. Unul dintre ei a arătat cu degetul spre bulele din bere şi a spus: „Uite, Glaser, ar trebui să fie uşor, poți vedea urme aproape oriunde!” Ulterior, pubul i-a pus fotografia pe perete şi a susținut că invenția a luat naştere acolo, iar mitul s-a perpetuat.

15. Vettel, Glaser.

16. L.M. Brown, M. Dresden şi L. Hoddeson, Pions to Quarks: Particle Physics în the 1950s, Cambridge University Press, Cambridge, 1989, p 99.

17. Vettel, Glaser.

18. Femeile analizau date despre particule cel puțin din anii 1920, inclusiv cele care înregistrau scintilații la Viena, menționate în capitolul 5. În anii 1940, femeile au fost, de asemenea, angajate pentru a analiza datele de emulsie nucleară, în special în laboratorul lui Cecil Powell din Bristol. În timpul războiului, în timp ce bărbații au plecat să lupte, multe femei au găsit noi oportunități de muncă, inclusiv drept „calculatoare”, efectuând calcule detaliate pentru a rezolva ecuațiile diferențiale care apăreau în multe proiecte. Atunci când au apărut primele maşini de calcul electronice, acestea au preluat denumirea de „computer”, iar femeile au preluat în mod natural rolul de programatoare de calculatoare, deşi adesea nu li s-a acordat nicio recunoaştere, iar poveştile lor au fost mult timp ignorate. Aşadar, când a venit momentul să analizeze urmele de particule din camerele cu bule, diviziunea muncii în funcție de stereotipurile de gen abia dacă a fost pusă în discuție. Era, în mod clar, o „muncă de femei”.

19. M. Gell-Mann, „Isotopic spin and new unstable particles”, Physical Review, vol. 92, 1953, p 33.

https://doi.org/10.1103/PhysRev.92.833 şi M. Gell-Mann, „The interpretation of the new particles as displaced charged multiplets”, Il Nuovo Cimento, vol. 4(S2), 1956, pp 48–66.

Https://doi.org/10.1007/BF02748000.

20. „Gradientul alternativ” a fost un nou concept de focalizare care a provenit dintr-o descoperire în domeniul fizicii acceleratoarelor făcută la Cosmotron, unde s-a constatat că, prin inversarea polarității fiecărui al doilea magnet, un fascicul poate fi limitat la un canal de fascicul mult mai îngust (nu unul prin care să poți trece cu maşina!). Acest lucru a permis construirea de instalații cu magneți mai mici şi mai ieftini, în timp ce fasciculele puteau atinge energii şi mai mari.

21. Ideea de quarci a fost inventată independent de George Zweig, care i-a numit „aşi”.

22. V.E. Barnes şi colaboratorii, „Observație of a Hyperon with Strangeness Minus Three”, Physical Review Letters, vol. 12(8), 1964, pp 04–6.

Https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.12.204.

23. Vettel, Glaser.

24. Mary Palevsky, Atomic Fragments – A Daughter’s Questions, University of California Press, 2000, p 28.

25. Acesta este unul dintre domeniile mele de cercetare, iar Wilson este, trebuie să recunosc, un fel de erou al meu. Teza mea de doctorat a avut ca temă proiectarea unor noi acceleratoare, similare ciclotroanelor, pe care le-am proiectat special pentru a îmbunătăți terapia modernă cu particule. Aceste aparate se numesc „acceleratoare cu gradient alternativ de câmp fix”, sau acceleratoare FFA, şi au fost inventate în anii 1950 şi 1960 în Statele Unite de colaboratorii de la MURA.

26. Numit după fizicianul australian-britanic William Henry Bragg, care l-a preconizat încă din 1904.

27. U. Amaldi, „History of hadrontherapy în the world and Italian developments”, Rivista Medica, vol. 14(1), 2008.

28. L. Hoddeson, „Establishing KEK în Japan and Fermilab în the US: Internaționalism, naționalism and high energy accelerators”, Social Studies în Science, vol. 13(1), 1983. https://doi.org/10.1177/030631283013001003.

Capitolul 9. Megadetectoare: găsirea misteriosului neutrino

1. Din conferința Nobel susținută de Fred Reines, disponibilă online la https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/reines-lecture.pdf.

2. Practic, acest proces captează geamănul de antimaterie al neutrinoului, antineutrino, dar Reines şi Cowan nu ştiau acest lucru, iar pentru noi acest lucru nu are prea mare importanță deocamdată. Acesta este opusul dezintegrării beta radioactive din primele experimente ale lui Meitner şi Hahn şi se numeşte dezintegrare beta inversă.

3. Inventarea acestor tuburi este greu de stabilit cu exactitate, dar se crede că a avut loc fie în Rusia, fie în Statele Unite. În prezent, ele sunt dezvoltate şi vândute în principal de o companie japoneză, Hamamatsu.

4. Acestea ar fi fost osciloscoape cu raze catodice. Vezi capitolul 1.

5. Această idee a unui contor de radiații pentru întregul corp a fost utilizată ulterior în medicină pentru a înțelege măsura în care materialul radioactiv, natural sau produs de om, este absorbit, circulă şi este utilizat de corpul uman.

6. Practic, acesta este un antineutrino, echivalentul de antimaterie al neutrinoului, care este necesar deoarece dezintegrarea trebuie să conserve „numărul leptonic”: electronul are numărul leptonic +1, iar antineutrinoul are -1, echilibrându-se reciproc.

7. Acest lucru nu se întâmplă cu uşurinţă, deoarece nu se poate realiza o fuziune directă a protonilor. Mai întâi, patru protoni trebuie să fuzioneze în doi deuteroni, apoi se adaugă alţi protoni pentru a obţine două nuclee de heliu-3 şi, în cele din urmă, acestea fuzionează pentru a forma un singur heliu-4. De-a lungul diferitelor etape ale lanţului, se eliberează neutrino, raze gamma şi pozitroni.

8. Pe de altă parte, razele gamma ar ricoşa în interacţiunile electromagnetice, ar avea nevoie de sute de mii de ani pentru a ajunge la suprafaţă şi, în cele din urmă, ar ieşi sub formă de lumină vizibilă.

9. Dacă detectăm mai întâi varianta de materie sau antimaterie a unei noi particule nu este foarte important pentru fizicienii din zilele noastre. Dar neutrinii sunt interesanţi în acest sens. Definim neutrinii şi antineutrinii după felul în care interacţionează cu alte particule, după valorile aşa-numitului număr leptonic, dar încă nu se ştie dacă aceştia sunt, de fapt, deosebiţi sau dacă neutrinii sunt propria lor antiparticulă.

10. Viaţa lui Pontecorvo este o poveste fascinantă; vezi cărţile lui Frank Close, Neutrino, OUP, Oxford, 2010 şi Half Life, Oneworid, Londra, 2015.

11. Poţi face un tur virtual aici: https://www.snolab.ca/facility/vr-tour 12. Experimentul Kamioka Nucleon Decay a fost conceput iniţial pentru a măsura dezintegrarea unui proton. A reuşit să stabilească limite privind durata de viaţă a protonului, dar s-a dovedit a fi excelent şi pentru neutrino şi a fost îmbunătăţit în timp în acest scop. Interacţiunea neutrinilor în apă poate produce electroni sau pozitroni care se deplasează mai repede decât viteza luminii (adică viteza luminii în apă, care este mai mică decât în vid), un efect echivalent cu boom-ul sonic al unui avion cu reacţie. Asta produce un con de lumină pe

care noi îl numim radiație Cherenkov, adică ceea ce Super-Kamiokande a fost proiectat să măsoare.

13. https://www.symmetrymagazine.org/article/june-2013/cinderellasconvertible-carriage.

14. https://www.techexplorist.com/scientists-measured-neutrinosoriginating-interior-earth/29364/.

15. https://www.sheffield.ac.uk/news/nr/nuclear-particle-physicsresearch-study-watchman-uk-us-boulby-1.828008.

16. https://www.popsci.com/science/article/2012-03/first-timeneutrinos-send-message-through-bedrock/.

17. C. Thome şi colaboratorii, „The REPAIR project: Examining the biological impacts of sub-background radiation exposure within SNOLAB, a deep underground laboratory", Radiation Research, vol. 88(4.2), 2017, pp 70–4. Doi: 10.1667/RR14654.1.

Capitolul 10. Acceleratoare liniare: descoperirea quarcilor

1. Funcționează în mod obişnuit la o frecvență de aproximativ 20–50 MHz.

2. Klystronul a creat o putere la nivel de miliwatt în gama de frecvențe GHz.

Inginerii şi fizicienii din domeniul acceleratoarelor au tendința de a se referi atât la frecvențele de „microunde" (peste 1GHz), cât şi la cele „radio" (de la MHz la GHz) ca fiind „radiofrecvențe".

3. James P. Baxter, Scientists Against Time, Atlantic-Little Brown, Boston, 1947, p 42.

4. Aceasta a fost numită „Misiunea Tizard", după numele chimistului britanic Henry Tizard, care a inițiato.

5. Fără ca ei să ştie, şi Yoji Ito dezvoltase, independent, un magnetron în Japonia, în 1939.

6. A nu se confunda cu Rad Lab al lui Lawrence de la Berkeley; Rad Lab de la MIT a primit acest nume, care

provoca în mod intenționat confuzie, astfel încât oamenii să creadă că lucrau, pur şi simplu, la cercetări de fizică fundamentală, nu la lucrări legate de radare militare.

7. Frank J. Taylor, „The Klystron Boys: Radio's Miracle Makers", Saturday Evening Post, 8 februarie 1942, p 6.

8. Frații au listat ulterior compania la bursă, în 1956.

9. John Edwards, „Russell and Sigurd Varian: Inventing the klystron and saving civilization", disponibil la https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21795573/russell-and-sigurd-varian-inventing-the-klystron-and-saving-civilization. Accesat online pe 29 iunie 2021.

10. Christophe Lécuyer, Making Silicon Valley: Innovation and the Growth of High Tech, 1930–1970, MIT Press, Cambridge MA, 2006.

11. E. Ginzton, „An informal history of SLAC: Early accelerator work at Stanford", SLAC Beam Line, ediția specială nr. 2, 1983.

12. Calculul s-a bazat pe ipoteza necesității de a avea o rezoluție de aproximativ 1% din raza protonului sau neutronului, ceea ce dă o energie a electronului de 20

GeV, folosind lungimea de undă de Broglie a electronilor.

13. În modelul quarcului, toate particulele grele şi ciudate ar putea fi descrise ca având combinații de quarci şi versiunile lor de antimaterie, antiquarci. Asta însemna că un proton ar avea doi quarci up şi un quarc down, în timp ce un neutron ar avea un quarc up şi doi quarci down. Mezonii, precum pionul şi kaonul, erau compuşi din doi quarci sau dintr-un quarc împreună cu un antiquarc. Particulele stranii, cunoscute sub numele de barioni, aveau trei tipuri de quarc sau de antiquarc. La un moment dat, toate particulele care interacționează prin intermediul forței tari au primit numele de hadroni.

14. Totuşi, a existat o mică diferență față de experimentul cu folia de aur. În acest caz, electronii pierdeau o parte din energie în timpul coliziunii, aşa că se vorbea de o coliziune inelastică, spre deosebire de coliziunile elastice din experimentul cu folia de aur. Experimentul este cunoscut sub numele de dispersie inelastică profundă.

15. Până când, în 1999, un alt proiect de fizică, interferometrul de unde gravitaționale (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory– LIGO), a preluat acest titlu.

16. În prezent, acesta a fost îmbunătățit până la 50 GeV.

17. Michael Riordan, „The discovery of quares", Science, vol. 256, pp 287–93.

Https://doi.org/10.1126/science.256.5061.1287.

18. Disponibil online la https://hueuni.edu.vn/portal/en/index.php/News/the-road-to-the-nobelprize.html. Accesat pe 5 octombrie 2020.

19. Să ne amintim că atomul de hidrogen are doar un proton şi un electron, în timp ce deuteriul are un proton şi un neutron.

20. Pentru descoperirea lor, Friedman, Kendall şi Taylor au primit ulterior premiul Nobel pentru fizică, în 1990.

21. Radiațiile ionizante au fost folosite pentru tratarea leziunilor cutanate încă din 1897, după descoperirea razelor X, dar, având la dispoziție doar energii scăzute, razele nu puteau pătrunde în organism, aşa că nu erau bune pentru majoritatea tumorilor. Abia după ce au apărut acceleratoarele, care oferă energii ale electronilor (şi, prin urmare, energii ale razelor X) în gama „megavolților", razele au avut suficientă putere de penetrare.

22. Înainte de LINAC, au existat câteva tehnologii concurente pentru radioterapie, de la aparatele Van de Graaff şi Cockcroft-Walton la betatroane.

Majoritatea erau fie prea mari, fie nu ofereau o doză suficient de mare pentru o terapie de calitate. În Marea Britanie, un aparat cu raze X de 8 MeV şi 3 metri lungime a fost primul LINAC din lume care a tratat pacienți, dar era un dispozitiv mare care nu putea fi mişcat pentru a furniza fasciculul din mai multe unghiuri. Câteva aparate mai mici, de 4 MeV, au fost, de asemenea, construite în Marea Britanie în această perioadă şi, în scurt timp, au fost instalate aparate în Australia, Noua Zeelandă, Japonia şi Rusia. Noile aparate Varian au înlocuit rapid aceste instalații timpurii, odată cu dezvoltarea radioterapiei.

23. Vezi https://www.iceccancer.org/cerncourier-article-developing-medical-linacs-challenging-regions/.

24. Vezi https://www.computerworid.com/article/3173166/bill-nye-backed-startup-uses-particle-accelerator-to-make-solar-panels-60-cheaper.html.

25. Terapia cu electroni de foarte mare energie (VHEE), combinată cu administrarea rapidă a dozelor pentru a obține aşa-numitul efect „FLASH”, este un subiect fierbinte în domeniu în acest moment.

Capitolul 11. Tevatronul: a treia generație de materie

1. „R.R. Wilson’s congressional testimony, 1969”, Fermilab. Disponibil online la https://history.fnal.gov/historical/people/wilson_testimony.html. Accesat pe 31 mai 2021.

2. Ibidem.

3. Wilson a modelat-o după catedrala din Beauvaix din Franța.

4. https://history.fnal.gov/goldenbooks/gb_wilson.html

5. L. Hoddeson, A.W. Kolb şi C. Westfall, Fermilab: Physics, the Frontier, and Megascience, University of Chicago Press, 2009, p 01.

6. Relatările sunt amestecate când povestesc dacă metoda de curățare cu dihorul a funcționat, dar, în orice caz, un sistem robotizat a înlocuito ulterior pe Felicia.

7. Denumită „extracție rezonantă lentă”.

8. Hoddeson, Kolb şi Westfall, Fermilab.

9. Particula „J/Ψ” este o combinație – sau „stare legată” – a unui quarc charm şi a unui quarc anticharm, deoarece quarcii nu pot fi „găsiți” în mod izolat.

Grupul lui Burton Richter de la SLAC a numit noua particulă „Ψ”, în timp ce grupul lui Samuel Ting care lucra la Brookhaven a numit-o „J”, iar cele două au fost atât de apropiate în timp, încât particula a devenit cunoscută printr-o combinație a celor două, J/ Ψ.

10. D.C. Hom, D.C. Hom, L.M. Lederman şi colaboratorii, „Observație of high mass dilepton pairs în hadron collision at 400 GeV”, Physical Review Letters, vol. 36(21), 1976, p 236. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.36.1236.

11. Practic, asta înseamnă că, dacă noua particulă nu există, şansa ca datele să arate aşa cum arată este de una la 3,5 milioane. Este puțin enervant să o formulăm astfel, dar nu există nicio modalitate de a ocoli această afirmație condiționată care începe cu „dacă”, deoarece aşa funcționează statisticile. Dar eu prefer să o formulez aşa: „există mai puțin de o şansă din 3,5 milioane ca datele să fie o întâmplare”.

12. „Revisiting the b revoluție”, CERN Courier, 2017. Disponibil online la https://cerncourier.com/a/revisiting-the-b-revolution/.

13. Aceste prime materiale supraconductoare au fost niobiu-zirconiu şi niobiu-titan.

14. J. Jackson, „Down to the Wire”, SLAC Beam Line, vol. 73(9), primăvară 1993, p 4.

15. Cei de la Brookhaven, unde se dezvoltau magneți pentru un accelerator supraconductor puțin mai mic, numit

ISABELLE, au învățat pe propria lor piele această lecție. Brookhaven a realizat mai puține prototipuri şi apoi a avut un şoc atunci când magnetul care funcționa pe o lungime mică nu a funcționat corespunzător la scară reală, problemă care a jucat un rol important în anularea proiectului ISABELLE, în 1982.

16. Se pare că prima idee de collider a pornit de la Rolf Widerøe în 1953. Idei ulterioare au venit de la Novosibirsk din Rusia, de la Midwestern Universities Research Association (MURA), de la Brookhaven, SLAC şi de la Cambridge Electron Accelerator (CEA).

17. Coliziunile de 1,6 TeV au avut loc prima dată pe 13 octombrie 1985.

18. Această dezintegrare produce, de asemenea, un boson W, purtătorul încărcat electric al forței slabe.

19. Vezi https://cerncourier.com/a/superconductors-and-particle-physicsentwined/.

20. Vezi https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/unity/.

21. Vezi http://becresearch.blogspot.com/2010/09/global-market-for-mrisystems-to-grow.html.

22. Judy Jackson, „Down to the wire”, SLAC Beam Line, vol. 23(1), 1993, p 4.

Https://www.slac.stanford.edu/history/newsblq.shtml

Capitolul 12. Marele accelerator de hadroni: bosonul Higgs şi dincolo de el

1. Evans este, de asemenea, singurul membru actual al Societății Regale în domeniul meu, fizica acceleratoarelor.

2. M. Krause, CERN: How We Found the Higgs Boson, World Scientific, Singapore, pp 8–107.

3. Interviu cu Lyn Evans, BBC Wales (arhivat). Disponibil online la

https://www.bbc.co.uk/wales/scifiles/interviewsub/liveevans.shtml.

4. Krause, CERN.

5. Bosonii W şi Z au în jur de 70 GeV.

6. Acest număr pare destul de specific, deoarece se bazează pe masa bosonului Higgs, la care ajungem imediat, mai ai puțină răbdare!

7. Dată de fizicianul David Miller de la University College din Londra.

8. J.D. Shiers, Data Management at CERN: current status and future trends, Proceedings of IEEE 14th Symposium on Mass Storage Systems, 1995, pp 74–81, doi: 10.1109/MASS.1995.528227.

9. Vezi https://www.bondcap.com/pdf/Internet_Trends_2019.pdf.

10. PIB-ul pe cap de locuitor este de 1 369 de dolari, iar populația din Kashmir este de 12,55 milioane, astfel că PIB-ul total este de aproximativ 17 miliarde de dolari. Vezi https://thediplomat.com/2020/08/perpetual-silence-kashmirs-economy-slumps-under-lockdown/.

11. „Tevatron experiments close în on Higgs particle", Symmetry, iulie 2011.

Disponibil online la https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2011/07/27/tevatron-experiments-close-in-on-higgs-particle.

12. Gianotti avea să devină ulterior prima femeie director general al CERN, funcție pe care o deține în momentul scrierii acestei cărți.

13. Pentru detalii, vezi https://seeiist.eu.

14. Pentru informații privind portofoliul de tehnologii al CERN, vezi https://kt.cern/technologies.

15. Vezi The Impact of CERN, CERN-Brochure-2016-005-Eng, decembrie 2016. https://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/2018-07/

CERN-Brochure-2016-005-Eng.pdf. Accesat pe 10 noiembrie 2021. Vezi şi P. Castelnovo şi colab., „The economic impact of technological procurement for large scale infrastructures: Evidence from the Large Hadron Collider”, lucrare CERN, 2018.

Disponibil online la adresa https://cds.cern.ch/record/2632083/files/CERN-ACC-2018-0022.pdf.

16. David Villegas şi colaboratorii, „The role of grid computing technologies în cloud computing”, în B. Fuhrt (ed.), Handbook of Cloud Computing, Springer Verlag, Berlin, 2010, pp 83–218.

17. P. Amison şi N. Brown, Evaluation of the Benefits that the UK has derived from CERN, grupul Technopolis, 2019.

18. Apropo, masele neutrinilor nu explică masa lipsă a Universului.

Capitolul 13. Experimente viitoare

1. Acest proiect se bazează pe tehnologia de accelerare de înaltă frecvență în „bandă X”: unul dintre sistemele lor de testare este – în momentul scrierii acestei cărți – în curs de instalare în noul meu laborator de la Universitatea din Melbourne şi va dezvolta programul nostru în domeniul acceleratoarelor medicale şi industriale, şi va contribui la dezvoltarea viitoarelor acceleratoare liniare.

2. La CERN, Edda Gschwendtner supervizează AWAKE (Advanced Wakefield Experiment), care preia fascicule de protoni la 400 GeV şi le utilizează pentru a crea un canal de plasmă pentru a accelera electronii.

3. Acest sondaj a fost realizat în 2015, înainte de pandemia COVID, de preşedinția lui Trump şi de Brexit. Disponibil online la https://ourworidindata.org/a-history-of-global-living-conditions-in-5-charts.

4. Disponibil online la adresa https://www.theguardian.com/science/2013/dec/06/peter-higgs-boson-academic-system.

CUPRINS

- Introducere
- Partea întâi
- Sfârşitul fizicii clasice
- Capitolul 1
- Tubul cu raze catodice: razele X şi electronul
- Capitolul 2
- Experimentul cu folia de aur: structura atomului
- Capitolul 3
- Efectul fotoelectric: teoria cuantică a luminii
- Partea a doua
- Materia dincolo de atomi
- Capitolul 4
- Camere cu ceață: raze cosmice şi o ploaie de particule noi
- Capitolul 5
- Primele acceleratoare de particule: divizarea atomului
- Capitolul 6
- Ciclotronul: producerea artificială a radioactivității
- Capitolul 7
- Radiația sincrotronică: apare o lumină neaşteptată
- Partea a treia
- Modelul standard şi dincolo de el
- Capitolul 8
- Fizica particulelor elementare la scară mare: rezonanțe ciudate
- Capitolul 9
- Megadetectoare: găsirea misteriosului neutrino
- Capitolul 10

- Acceleratoare liniare: descoperirea quarcilor
- Capitolul 11
- Tevatronul: a treia generație de materie
- Capitolul 12
- Marele accelerator de hadroni: bosonul Higgs şi dincolo de el
- Capitolul 13
- Experimente viitoare
- Mulțumiri
- Note